REFRIGERAÇÃO DE GRANDE PORTE - CHILLER

SUMÁRIO

1- CHILLERS DE ABSORÇÃO 3

2- CHILLER DE COMPRESSÃO OU ELÉTRICO 12

3- CHILLER PARAFUSO 22

4- O QUE É UM CHILLER? SAIBA TUDO SOBRE

O SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO QUE ESTÁ MUDANDO O MERCADO 24

5- CONHECIMENTOS EM ELETRICIDADE 28

REFERÊNCIAS

1- CHILLERS DE ABSORÇÃO

O chiller por absorção pode ser considerado como um ciclo de refrigeração “termoquímico”, que trabalha internamente a baixa pressão (vácuo). No seu interior circulam dois líquidos: um líquido refrigerante (água deionizada) e um líquido absorvedor (brometo de lítio – LiBr), nesse caso, um sal diluído em água que tem capacidade de absorver os vapores do refrigerante quando alcança uma determinada concentração.

O chiller por absorção tem um evaporador acoplado a um absorvedor, formando um vaso único, chamado evaporador-absorvedor. Nesse vaso, no lado do evaporador, o líquido refrigerante (água deionizada) é evaporado quando entra em contato com os tubos de cobre, onde internamente circula o líquido a ser resfriado (água gelada). No lado chamado absorvedor, o refrigerante evaporado é absorvido por uma solução de LiBr na fase líquida, distribuída como “chuva”, permitindo, assim, o contato íntimo entre o refrigerante evaporado e o líquido absorvedor (LiBr), nessa ocasião com concentração alta o suficiente para absorver o vapor refrigerante. Uma vez que o LiBr absorveu o refrigerante, ele se transforma numa solução diluída, reduzida da sua concentração inicial, perdendo sua capacidade de absorver o refrigerante como

tinha no início do ciclo. A solução diluída é enviada para outra parte importante do chiller por absorção, chamada gerador, onde é aquecida até liberar todo o vapor do refrigerante nela contido e, dessa forma, se reconcentrando, obtendo de novo a concentração inicial para absorver o vapor refrigerante no começo do ciclo, no vaso denominado evaporador-absorvedor. Essa solução concentrada no gerador retorna ao absorvedor, novamente capaz de absorver o vapor refrigerante. O refrigerante na forma de vapor, que foi separado do LiBr no gerador, é enviado para outra seção importante do chiller por absorção, o condensador, onde será liquefeito (condensado) através do contato com os tubos de cobre do condensador, nos quais circula internamente a água que vem da torre de resfriamento (água de condensação) e cuja temperatura é baixa o suficiente para permitir a condensação.

O refrigerante na fase líquida vai do condensador para o evaporador, reiniciando o ciclo já descrito acima, que se repete indefinidamente enquanto funcionar o chiller por absorção. É importante notar que o calor utilizado como energia no gerador (do ciclo de refrigeração por absorção) é quem vai separar o refrigerante que está unido intimamente ao LiBr. O antagonismo de que calor pode produzir “frio” fica aqui desvendado. O efeito refrigeração é o mesmo, tanto no ciclo por absorção como no ciclo por compressão, ou seja, em ambos os casos o líquido refrigerante se evapora a baixa pressão e absorve o calor para produzir água gelada, o que difere é a forma de energia utilizada em cada ciclo, ou seja, na absorção utilizamos o calor, na compressão utilizamos a energia elétrica.

“Embora o chiller por absorção seja uma escolha ideal e frequente para grandes edifícios comerciais, a tecnologia de hoje é adequada para uma variedade de pequenos, médios e grandes sistemas. Escolas, edifícios governamentais, restaurantes e estabelecimentos de varejo, como shopping centers, precisam de altas cargas de resfriamento durante o dia. Além disso, os chillers por absorção reduzem significativamente o consumo e o custo elétrico, especialmente nas altas demandas de pico. Funcionam muito bem em sistemas dedicados de resfriamento em grandes plantas como parte de um sistema híbrido, onde as necessidades de refrigeração são compartilhadas com refrigeradores a gás, elétricos ou a vapor. Seja qual for o tamanho ou a demanda do trabalho de resfriamento, os chillers por

absorção fornecem benefícios importantes para os proprietários", ressalta o engenheiro Celso Doná, gerente de engenharia de aplicação da LG Electronics.

Celso Doná

Para traçar um paralelo de eficiência entre um chiller por absorção e um elétrico é preciso, segundo José Carlos Felamingo, da Union Rhac, entender que o ciclo por absorção, por usar energia na forma de calor, considerada "menos nobre" do que a energia elétrica, oferece menor eficiência do que o ciclo por compressão (chiller elétrico). "Se a energia na forma de calor, utilizada no ciclo por absorção, for mais barata do que a energia elétrica, lógico que o produto final (água gelada) será mais barato quando obtido pelo chiller por absorção. Do mesmo modo, se a energia na forma de calor for mais cara, de forma a encarecer o produto final (água gelada), o chiller por compressão, que usa a energia elétrica, se torna mais vantajoso".

"Acredito que não há muitas diferenças entre ambos os chillers. O evaporador e condensador são iguais, o refrigerante é água, mas o comportamento do mesmo é similar aos refrigerantes convencionais e suas tabelas de características não são tão diferentes, pois passam pelas transformações de líquido e vapor e vice-versa; por não utilizar compressor e possuir poucas partes móveis, o nível de ruído e de vibração são menores do que os chillers elétricos; o uso do gás natural reduz a

necessidade de trocas de componentes, por conta disso é possível ter um custo de manutenção menor, mantendo a integridade do sistema; ambos precisam de torre de resfriamento e bombas de água de condensação para resfriar o condensador, e, no caso da absorção, resfriar também o absorvedor. Para os chillers por compressão temos as bombas de água gelada e as interligações com painéis elétricos; para os de absorção temos as interligações hidráulicas de gás natural e de vapor. Em termos de eficiência podemos dizer que os chillers por compressão possuem uma faixa de eficiência, dependendo do tipo de compressor (scroll, parafuso ou centrifugo), de 4,5 a 7,1 kw/kw (COP), já as absorções, também dependendo do tipo e fonte de calor, terão uma faixa de eficiência entre 0,7 e 1,5 kw/kw. As unidades de simples efeito a água quente e vapor possuem uma eficiência de 0,7 e 0,8 kw/kw, já as de duplo efeito a gás natural e vapor possuem entre 1,1 e 1,5 kw/kw. Os elétricos são mais eficientes, mas é preciso levar em consideração que a energia elétrica, até chegar ao motor do compressor, possui grandes perdas por transmissão, que não são consideradas. Mas quero frisar que os chillers por absorção são eficazes, confiáveis e duráveis, atendendo muito bem às necessidades de operações em condições extremas", exemplifica Doná.

Operação e manutenção

"Os equipamentos por absorção precisam de mais tempo para entrar em regime de operação na condição de temperatura de projeto. Se a área servida precisar do ar condicionado na condição de projeto no horário estabelecido, sugerimos que o equipamento seja ligado entre 30 e 60 minutos antes. São equipamentos que necessitam de uma operação mais estável ou pelo menos que não tenham variações bruscas na carga térmica e no fornecimento da fonte de calor. Outro ponto muito importante é não deixar faltar a água de condensação na temperatura de projeto estabelecida, principalmente no absorvedor, pois o ciclo de vapor precisa desse resfriamento no absorvedor para se manter operante; se faltar água ou se a temperatura subir muito, o ciclo não vai operar de forma a resfriar a água do ar condicionado na temperatura requerida ou até na capacidade requerida. A operação em cargas mais baixas também precisa ser levada em consideração. Esse tipo de chiller possui uma capacidade térmica mínima de 25%. Quando isso ocorre

precisamos manter a temperatura de água da torre também adequada para não ocorrer a cristalização da solução de LiBr na descida do gerador para o absorvedor, onde ocorre a expansão do mesmo e a queda de temperatura. Algumas precauções na operação quanto à observação dos sistemas de purga e bomba de vácuo devem ser consideradas, pois sem isso o chiller não irá atingir sua maior performance, isso porque mantemos o ciclo de vapor sem gases incondensáveis, que causam pressão interna, e a operação da bomba de vácuo que, além de ajudar na purga, mantém a depressão dentro do equipamento, garantindo que irá operar na temperatura de evaporação adequada", argumenta Doná.

Oswaldo de Siqueira Bueno, da Oswaldo Bueno Engenharia, comenta que a unidade de absorção é um equipamento bem simples, desde que as etapas de fabricação, instalação e de posta em marcha tenham sido feitas de forma correta. "Toda unidade dividida, como minisplit, split e condensador remoto, deve ser instalada em campo com as interligações de refrigeração e elétricas. Um erro na interligação de refrigeração (tubulação) reduz o desempenho e o tempo de vida da unidade. Acredito que os equipamentos são fabricados de forma correta, mas as instalações não, portanto, é na partida inicial (posta em marcha) que podemos verificar se está tudo em ordem ou se deverá ser corrigido (vazamento, incondensáveis, carga de fluido frigorífico incorreta, má distribuição de ar). As unidades de água (fluído frigorífico) + brometo de lítio (absorvedor) operam em vácuo com pressões absolutas da ordem de 0,8 kPa (evaporador) e 7 kPa (condensador). Lembro que a pressão absoluta da atmosfera é de 101 kPa. O problema é a infiltração do ar atmosférico que irá provocar reações químicas e aumento da pressão interna, alterando o desempenho, podendo impedir o funcionamento. Toda unidade de absorção possui um sistema de purga de incondensáveis, devendo ser acionado sempre que existir dúvidas ou com a periodicidade recomendada pelo fabricante. Não podemos esquecer que as tubulações dos trocadores de calor são fabricadas em cobre. É proibido instalar unidades com tubulações de cobre, como a unidades de absorção, junto a instalações que usem amônia como fluído frigorífico".

Oswaldo de Siqueira Bueno

“A manutenção do chiller por absorção é voltada para a análise química da solução de LiBr, pois a construção do chiller (corpo) sendo de aço carbono e os tubos em cobre, podem sofrer corrosão, uma vez que o LiBr é um sal. Visando inibir o efeito corrosivo, mistura-se Molibdato de Lítio à solução de LiBr. Com o objetivo de reconhecer se está ou não havendo corrosão é feita uma amostragem da solução e levada a um laboratório que irá realizar essa análise. A amostragem é feita uma ou duas vezes por ano, dependendo do regime de funcionamento do chiller”, explica Felamingo.

Doná comenta várias exigências importantes no que se refere à manutenção de chillers por absorção. “É preciso realizar uma rotina de manutenção diária e inspecionar cada parte do chiller. Verificar se há cheiro de gás, presença de ruído incomum quando o queimador estiver operando, se alguma peça do queimador está solta, ocasionando danos, se há a presença de ruído na bomba de refrigeração, na bomba de solução e no ventilador do queimador etc. A manutenção química é outro ponto importante. É preciso coletar amostras de solução de brometo de lítio e analisar o pH para verificar a necessidade de adição de álcool octílico, que mantém a aderência do filme de troca de calor nos trocadores e adição do anticorrosivo (molibdato de lítio), que corrigi a solução de brometo. O ar não pode entrar no

equipamento. Se isso acontecer, poderá oxidar a carga de brometo de lítio, que será descartada. Pode ocorrer também a oxidação dentro do equipamento, que poderá ser irreparável, dependendo do tempo que ficar nessas condições".

Válvulas, controles e sistemas de bombas

O que muda em relação às válvulas e controles de um chiller elétrico para um chiller por absorção? Doná explica que ambos os tipos de equipamentos necessitam de válvulas de controle para a água gelada, água de condensação e água quente ou vapor, no caso da absorção. Quando há absorção de queima direta é preciso adicionar também a tubulação de fornecimento de gás e suas válvulas de controle de pressão e de vazão de gás, além de dispositivos de detecção e proteção de falta de gás e controle de vazão do queimador, conforme a necessidade de carga.

"Com relação à automação externa ao equipamento, acredito que seja o controle da quantidade e da qualidade do calor a ser empregado, seja ele água quente, vapor de água ou gás combustível. É importante considerar a automação interna da unidade para impedir a cristalização da solução concentrada nos trocadores de calor", explica Bueno.

"O sistema de bombas hidráulicas é similar para ambos os chillers. Porém, no caso da absorção temos uma quantidade maior de água de condensação devido à necessidade de resfriamento do condensador e do absorvedor; é indispensável, para manter o ciclo de vapor da absorção funcionando, a reação exotérmica dentro do absorvedor. As torres de resfriamento também são maiores para os chillers por absorção, aproximadamente na mesma proporção da bomba de água de condensação. Já as bombas de água gelada são iguais para as duas situações", comenta Doná.

Em relação ao sistema de bombas, Bueno explica que a alteração está em trabalhar com a vazão de água gelada no anel primário sempre constante, evitando grandes variações de carga térmica de refrigeração em um período inferior a 15 minutos.

José Carlos Felamingo

“Uma vez que o rejeito de calor no chiller por absorção for maior do que num chiller por compressão, a vazão de água no condensador também será maior. Todavia, se considerarmos que o diferencial de temperatura da água de condensação pode ser aumentado sem prejuízo da eficiência, pode-se dizer que em muitos casos a vazão de condensação do chiller por absorção se iguala aos chillers por compressão. No lado da água gelada não muda nada”, argumenta Felamingo.

O crescimento no mercado brasileiro

Para o representante da LG, o crescimento de chiller por absorção no mercado brasileiro ainda é tímido, o volume de obras que usam essa tecnologia ainda é pequeno, mas existe um grande potencial reprimido. Ele comenta também sobre as diversas limitações do crescimento desse mercado no Brasil. “Precisamos de investimentos, somente assim iremos adicionar mais periféricos ao sistema, se compararmos ao elétrico, as políticas de energia e de combustíveis não ajudam a promover a tecnologia e o fato de não termos a fonte de calor ou de combustível próxima da planta de resfriamento com absorção praticamente inviabiliza o sistema. As companhias de gás, por exemplo, investem por conta própria para atingir seus objetivos e estimular o uso da tecnologia em outros locais, onde possam encontrar

gás natural. A falta de mão de obra qualificada é outra barreira que precisa ser derrubada, e o tipo de chiller e seu volume instalado no mercado tornam essa mão de obra cara e insuficiente. Por esse motivo, muitas empresas estão treinando seus funcionários para darem suporte aos seus clientes. No Brasil, como a política muda muito, diversos empreendimentos têm optado por instalar plantas híbridas com chillers por absorção de queima direta de gás natural juntamente com chillers elétricos, com isso, o cliente usa aquilo que estiver mais viável no momento. Todavia, a grande barreira dessa prática, apesar de ser bastante viável, é o investimento que passa a ser pelo menos 50% maior. Mesmo com essas limitações, a absorção e os sistemas que agregam a mesma continuam sendo vantajosos e com grande viabilidade em várias aplicações", avalia.

"Acredito que há sim um forte crescimento dessa tecnologia no mercado nacional, principalmente depois da disseminação quanto ao seu uso, gerando mais oportunidades. Outro ponto importante que desencadeou esse interesse é o fato das distribuidoras de gás natural oferecerem vantagens para o seu uso", diz Felamingo.

2- CHILLER DE COMPRESSÃO OU ELÉTRICO

Durante o processo de análise de viabilidade de um sistema de água gelada, uma tarefa importante é a comparação entre diferentes tipos de *chillers* que podem ser aplicados naquele projeto e qual a melhor alternativa. Muitas vezes os estudos analisam apenas o custo inicial e eventualmente incluem a avaliação da eficiência energética. Mas a melhor alternativa pode envolver vários quesitos:

- Custo inicial de investimento;
- Eficiência energética (custos de consumo de energia);
- Consumo de água;
- Custos de manutenção do equipamento;
- Custos de manutenção dos demais componentes do sistema de água gelada;
- Área total ocupada pela central de água gelada (*chillers*, bombas, torres de resfriamento, painéis elétricos e demais componentes);
- Vida útil do equipamento;
- Relacionamento do cliente com o fabricante do *chiller*;
- Preferência pessoal do cliente.

No entanto, é muito importante que a análise seja realizada de maneira independente, preferencialmente pelo consultor responsável pelo projeto.

As comparações mais comuns envolvem comparações entre *chillers* com diferentes tipos de compressores (ex. centrífugo vs. parafuso) ou entre *chillers* com condensação a água e condensação a ar.
Outra comparação um pouco mais complexa é entre *chillers* com ciclo de compressão a vapor, com motores elétricos, e *chillers* com ciclo de absorção, que

podem ter diferentes tipos de fontes térmicas para o aquecimento do gerador do *chiller*.

A Tabela 1 mostra um comparativo de requisitos mínimos de eficiência energética para vários tipos de *chillers,* estabelecidos pelo ***ASHRAE Standard 90.1-2016 SI***. Os *chillers* com ciclos de absorção possuem COP muito baixo (normalmente entre 0.7 e 1.5 para *chillers* que utilizam a solução LiBr-H_2O), porém, considerando que o custo da fonte de energia térmica pode ser muito menor que o da energia elétrica (e até gratuito quando a fonte de calor for rejeito de outro processo), esta poderá ser uma alternativa extremamente atrativa economicamente para determinadas aplicações.

TABELA 1
Requisitos mínimos de eficiência energética para vários tipos de chillers, estabelecidos pelo *ASHRAE Standard 90.1-2016 SI*

TIPO DE EQUIPAMENTO	FAIXA DE CAPACIDADE	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA MÍNIMA REQUERIDA			
		ALTERNATIVA 01 (PATH A)		ALTERNATIVA 02 (PATH B)	
		COP (100%)	IPLV	COP (100%)	IPLV
Condensação a ar (com condensador incluso)	< 528 kW	2,985	4,048	2,866	4,669
	≥ 528 kW	2,985	4,137	2,866	4,758
Condensação a água (compressor do tipo alternativo, parafuso ou *scroll*)	< 264 kW	4,694	5,867	4,513	7,041
	≥ 264 kW e < 528 kW	4,889	6,286	4,694	7,184
	≥ 528 kW e < 1.055 kW	5,334	6,519	5,177	8,001
	≥ 1.055 kW e < 2.110 kW	5,771	6,770	5,633	8,586
	≥ 2.110 kW	6,286	7,041	6,018	9,264
Condensação a água (compressor centrífugo)	< 528	5,771	6,401	5,065	8,001
	≥ 528 kW e < 1.055 kW	5,771	6,401	5,544	8,801
	≥ 1.055 kW e < 1.407 kW	6,286	6,770	5,917	9,027
	≥ 1.407 kW e < 2.110 kW	6,286	7,041	6,018	9,264
	≥ 2.110	6,286	7,041	6,018	9,264
Absorção condensação a ar, de simples efeito	Todas	0,600	-	–	–
Absorção condensação a água, de simples efeito	Todas	0,700	-	–	–
Absorção condensação a água, de duplo efeito e queima indireta	Todas	1,000	1,050	–	–
Absorção condensação a água, de duplo efeito e queima direta	Todas	1,000	1,000		

A Tabela 2 apresenta o resultado de um estudo comparativo entre algumas opções de *chillers*, incluindo condensação a água e condensação a ar e ciclo de compressão a vapor e ciclo de absorção.

TABELA 2
Comparação de custos operacionais de alguns tipos de chillers, com capacidade de 1.583 kW (450 ton) envolvendo o consumo de energia (elétrica ou gás natural) e o consumo de água de resfriamento.

OPÇÃO DE CHILLER		01	02	03	04	05	06
EQUIPAMENTO		Centrífugo	Parafuso	Parafuso	Centrífugo	Parafuso	Ciclo de Absorção
Tipo de condensação		Água	Água	Ar	Água	Ar	Água
Referência		*ASHRAE Standard 90.1-2016 SI*			ALTA EFICIÊNCIA		
COP	kW/kW	6,018	5,633	2,866	6,317	3,459	1,345
IPLV	kW/kW	9,264	8,586	4,758	11,381	5,731	1,345
Potência - chillers	kW	263	281	552	251	458	1177
Calor rejeitado	kW	1846	1864	2135	1834	2041	2760
Vazão de água de resfriamento	m³/h	289	291	0	287	0	432
Altura manométrica – BAC	m.c.a.	17,0	17,0		17,0		22,0
Potência - BAC	kW	1,77	1,79		1,76		34,3
Potência - ventilador da torre	kW	9,2	9,2		9,2		15,0
Potência - queimador	kW						3,7
Potência - outros	kW						3,0
Potência total - elétrica	kW	289,9	308,1	552,3	277,4	457,6	56,0
Vazão de Gás Natural	Nm³/h						108,1
Consumo anual estimado - Energia Elétrica	kWh	404616	430383	621861	344827	516283	177251
Consumo anual estimado - Gás Natural	Nm³						183684
Consumo anual estimado - Água de Reposição	m³	3876	3905		3805		6099
Custo anual estimado - Energia Elétrica	R$	269.337,00	286.429,00	434.238,00	235.294,00	360.339,00	104.477,00
Custo anual estimado - Gás Natural	R$						390.673,00
Custo anual estimado - Água de Reposição	R$	158.283,00	159.500,00		77707,00		249.078,00
Custo anual estimado – Total	Mil R$	427,6	445,9	434,2	313,0	360,3	744,2

A seguir as considerações específicas para este estudo (tabela 2):

- Todos os *chillers* foram selecionados para uma capacidade efetiva de 1.583 kW (450 ton);
- Os *chillers* elétricos foram selecionados de acordo com os requisitos do ***AHRI Standard 551/591-2015 (SI)***. Os *chillers* com ciclo de absorção (opções 4 e 5) foram

selecionados de acordo com o ***AHRI Standard 560-2000***. Todos, porém, nas mesmas condições de água gelada e água de resfriamento;

- Para as opções 01, 02 e 03 foram utilizados como referência de eficiência energética os requisitos mínimos de COP e IPLV do ***ASHRAE Standard 90.1-2016 SI***, conforme indicado na Tabela 1 (para capacidade de 1583 kW). Os índices utilizados para todos os *chillers* com motores elétricos foram conforme a opção 2 (“Path B”, no original em inglês), considerando que todos os *chillers* possuem motores com inversores de frequência. Para estes não foram utilizados resultados de selecionamento de fabricantes;
- Nas opções 05 e 06 foram utilizados *chillers* de “Alta Eficiência”, uma vez que os requisitos do ***ASHRAE Standard 90.1-2016 SI*** para os *chillers* com condensação a ar e com ciclos de absorção são relativamente baixos em relação aos melhores equipamentos do mercado. Na opção 04, com compressor centrífugo e condensação a água, também foi selecionado um equipamento de alta eficiência disponível no mercado;
- O *chiller* com ciclo absorção selecionado é de duplo-efeito e utiliza como fonte de calor para o gerador a queima direta de gás natural. Esta é a opção mais comum para *chillers* com ciclo de absorção aplicados em sistemas para edifícios;
- Para todos os *chillers* com condensação a água foi inclusa na análise a vazão de água de resfriamento, que é muito maior para os *chillers* com ciclo de absorção que nos *chillers* elétricos (devido ao baixo COP, o calor rejeitado é muito maior). Quanto maior o calor rejeitado e a vazão de água de resfriamento, maiores as perdas de água por evaporação na torre de resfriamento;
- A perda de pressão no circuito de água de resfriamento do *chiller* com ciclo de absorção é maior, pois são dois trocadores em série (absorvedor e condensador), normalmente entre 80 e 100 kPa, contra 30 a 50 kPa típicos dos condensadores dos *chillers* elétricos. A ser verificado em um caso real;
- As torres de resfriamento foram selecionadas com base nas condições de operação típicas para sistemas de ar condicionado (35,0ºC/ 29,5ºC/ 24,0ºC). Eventualmente os fabricantes dos *chillers* com ciclo por absorção podem definir um diferencial de temperatura de água maior para reduzir a vazão de água de resfriamento. No caso dos *chillers* elétricos, também já se verifica que estas condições típicas não são as mais eficientes quando se realiza uma análise total, envolvendo *chillers*, BACs e

torres de resfriamento, quando se considera a variação da T_{BU} do ar externo local ao longo do ano. A ser verificado em um caso real;

- Para o cálculo do consumo de energia dos *chillers* foi arbitrado um fator médio de carga parcial do sistema de 0,59, ou seja, foi arbitrado que na média anual, durante o funcionamento do sistema, a capacidade do *chiller* foi de 59% da capacidade de projeto, que é a capacidade média ponderada de um *chiller* ao longo do ano, considerando os pesos do IPLV. Para um cálculo real seria importante levantar a energia térmica de resfriamento acumulada (kWh) ao longo do ano, durante o período de funcionamento do sistema, a partir do perfil de carga térmica anual;
- Para o cálculo do consumo anual estimado de energia elétrica dos *chillers* foi utilizado o IPLV (considerando a variação da T_{BU} ou T_{BS} do ar externo conforme a porcentagem de carga) a partir de um sistema operando 12 horas/ dia, durante 20 dias no mês e por 12 meses. Para os demais equipamentos elétricos (bombas de água gelada do circuito primário, bombas de água de resfriamento e ventiladores das torres de resfriamento) foi considerada a operação contínua (sem considerar inversores de frequência) para o mesmo período de funcionamento dos *chillers*.
- Deve-se observar que, devido aos fatores de cálculo definidos pelos ***AHRI Standards***, o IPLV é um valor totalmente fictício para um equipamento. Sempre que possível, deve-se utilizar um PLV específico (por exemplo, o SPLV envolvendo todos os equipamentos do sistema), com base nas condições climáticas do local, considerando as horas reais de operação do sistema, que resultará numa distribuição real de ponderação das cargas parciais, ou ainda uma simulação energética do sistema ao longo do ano, durante os horários de funcionamento, o que certamente trará resultados mais próximos do real;
- Para o cálculo do consumo de gás natural (*chillers* com ciclo de absorção) também foi arbitrado o fator médio de carga parcial do sistema de 0,59;
- Nos *chillers* com condensação a água, para o cálculo do consumo de água de reposição na torre de resfriamento foi considerado 1,3 L/h por kW de calor rejeitado e o fator médio de carga parcial do sistema de 0,59. Para um caso real, os fornecedores das torres devem informar os valores específicos de taxa de reposição de água;

- A relação da água de reposição deve ser calculada com base no calor rejeitado (que é variável ao longo do ano) e não com base na vazão de água na torre (normalmente um valor fixo). A equação a seguir se refere ao cálculo das perdas por evaporação em uma torre de resfriamento:

$$Gl_0 = \frac{Gl(t_1 - t_2)}{1000\frac{(h_2 - h_1)}{(x_2 - x_1)} - t_2}$$

Onde:

- Gl_0 = Perda de água por evaporação (m^3/h);
- Gl = Vazão da água de resfriamento (m^3/h);
- t_1 = Temperatura de entrada da água na torre de resfriamento (ºC);
- t_2 = Temperatura de saída da água na torre de resfriamento (ºC);
- h_1 = Entalpia do ar na entrada da torre de resfriamento (kJ/kg);
- h_2 = Entalpia do ar na saída da torre de resfriamento (kJ/kg);
- x_1 = Umidade absoluta do ar na entrada da torre de resfriamento ($g/kg_{ar\ seco}$);
- x_2 = Umidade absoluta do ar na saída da torre de resfriamento ($g/kg_{ar\ seco}$);

Para o cálculo do custo do consumo de energia elétrica foi utilizada a tarifa Verde de energia elétrica aplicada para instalações comerciais, do subgrupo A4 (2,3 kV a 25 kV), para a cidade de São Paulo (ENEL), vigente em 05/2019, com os seguintes valores:

Demanda = R$ 11,17/kW;
Consumo – TUSD Fora da Ponta = R$ 0,05728/kWh;
Consumo – TUSD na Ponta = R$ 0, 47503/kWh;
Consumo – TE Fora da Ponta = R$ 0,25808/kWh;
Consumo – TE na Ponta = R$ 0, 41154/kWh;

Após o cálculo do custo do consumo de energia elétrica foram adicionados os impostos (ICMS, PIS e COFINS);

A opção pelo mercado livre de energia poderia trazer reduções consideráveis nos custos de consumo de energia (tipicamente entre 15% e 25%), mas não foi possível nesse estudo tentar simular um valor específico ou estabelecer índices para parametrização de apenas um *chiller*, pois seria necessária uma análise do consumo de energia anual de todo o empreendimento.

Para o cálculo do custo do consumo de água foi utilizada a tarifa aplicada para instalações comerciais normais para a cidade de São Paulo (SABESP) no valor de R$ 20,42/m³ (vigente em 05/2019). Foi considerada apenas a tarifa de consumo acima de 50 m³/mês, uma vez que, em qualquer uma das opções, estima-se um valor superior a 300 m³/mês;

Também foi considerada a tarifa de lançamento de esgoto, no mesmo valor (R$ 20,42/m³ – vigente em 05/2019), exceto na opção 04. É importante observar que se houver um medidor de consumo de água dedicado apenas para a água de reposição na torre de resfriamento e outro medidor no dreno, é possível obter a isenção da cobrança da tarifa de esgoto para o valor da diferença;

No caso da opção 04, foi considerado apenas o consumo de água de reposição, sem consumo de água para o esgoto. Como resultado, o valor total relativo ao consumo de água reduziu pela metade;

Outras opções de fontes de água de reposição para a torre de resfriamento, tais como água de poço ou água de reuso podem diminuir o valor dos custos operacionais com os *chillers* com condensação a água. Porém é necessária uma análise mais rigorosa, uma vez que nestes casos será necessário acrescentar na reposição a perda resultante da drenagem contínua na bacia da torre, que pode ser muito alta. Em estudos de casos realizados em São Paulo, o consumo de água mensal de água de reposição para torres de resfriamento utilizando água de reuso aumentou cerca de 1,9 vezes em relação ao consumo mensal utilizando água da rede pública. Além disso, foi verificado um aumento da incrustação nos condensadores dos *chillers* e enchimentos das torres, o que implicou em aumento significativo do consumo de energia;

No caso de *chillers* com condensação a ar, há alguns custos operacionais não considerados aqui, mas que podem ser muito relevantes, tais como:

Devido à ocorrência frequente de microvazamentos de fluido refrigerante nas serpentinas dos condensadores, o desempenho real do *chiller* pode ser significativamente reduzido. Tipicamente, um *chiller* que opera com 90% da carga de fluido refrigerante de projeto, tem como resultado uma perda de 7% no COP. Em equipamentos operando com R-407C, este impacto é ainda maior (quase 10% de perda no COP), pois se trata uma mistura zeotrópica;

A tendência de aumento de incrustação nas serpentinas dos condensadores ao longo do tempo de operação é bem maior do que em *chillers* com condensação a água, o que resulta em maior consumo de energia real. Tipicamente, a cada 1°C de aumento na temperatura de condensação em *chillers* com condensação a ar, utilizando R-134a, há uma perda de 4% no COP. Ao longo dos anos, a experiência pessoal mostra que, em análises operacionais de *chillers* com condensação a ar (entre cinco e dez anos de operação), é normal verificar um aumento de 3°C a 5°C na temperatura de condensação, mesmo com contratos de manutenção efetivos. Já em *chillers* com condensação a água, isso ocorre apenas quando a manutenção é inadequada ou quando se utiliza água de reuso, além de ser um problema muito mais fácil de corrigir e de menor custo de correção;

A vida útil típica de um *chiller* com condensação a ar é de 18 a 20 anos, e de um *chiller* com condensação a água é de 25 anos. Uma das principais causas da degradação é o baixo desempenho dos compressores e aumento de avarias, muitas delas resultantes da baixa carga de fluido refrigerante e do aumento da incrustação nos condensadores;

Para o cálculo do custo do consumo de gás natural foi utilizada a tarifa com ICMS aplicada para sistemas de refrigeração para a cidade de São Paulo (Comgás). Para o estudo, foram utilizadas as Classes 1 e 2 (tabela progressiva por faixa de consumo mensal) conforme indicado na Tabela 03.

TABELA 03
Tarifa progressiva de consumo de gás natural (vigente em 05/2019) para sistemas de refrigeração na região metropolitana de São Paulo.

CLASSES	VOLUME	VARIÁVEL – C/ ICMS
	m³/mês	R$/m³
1	Até 5.000 m³	2,207573
2	5.000,01 a 50.000 m³	2,087736
3	50.000,01 a 100.000 m³	2,026748
4	100.000,01 a 500.000 m³	1,936038
5	500.000,01 a 2.000.000 m³	1,945705
6	2.000.000,01 a 4.000.000 m³	1,917595
7	4.000.000,01 a 7.000.000 m³	1,884071
8	7.000.000,01 a 10.000.000 m³	1,850542
9	> 10.000.000 m³	1,816236

A seguir, alguns comentários sobre o resultado do estudo comparativo:

- Para os *chillers* com o padrão de referência ***ASHRAE 90.1-2016 SI***, a opção 01 foi a melhor – *chiller* com compressor centrífugo, com motor elétrico e condensação a água – porém, o custo final de operação para as três opções foi muito próximo;
- Para os *chillers* de alta eficiência, a opção 05 foi a melhor – *chiller* com compressor parafuso, com motor elétrico e condensação a ar.
- O resultado favorável para a opção 04 – *chiller* com compressor centrífugo, com motor elétrico e condensação a água – indicado na Tabela 02 foi devido ao contrato especial de medição de consumo de água, com medidor dedicado de consumo de água de reposição;

- Caso for aplicado o mesmo contrato para as demais opções com condensação a água, a opção 01 também terá um custo total menor que a opção 05.

- A opção 06 – *chiller* com ciclo de absorção – se mostrou mais onerosa que as demais, o que indica que a aplicação de *chillers* com queima direta de gás natural, em princípio, não é uma boa opção para aplicações em edifícios comerciais;
- No entanto, os fornecedores de gás natural oferecem contratos de longo prazo e algumas vezes sem nenhum custo de investimento inicial para o fornecimento dos *chillers*, o que pode tornar esta opção atrativa para o empreendedor, mas ao longo do tempo pode ser onerosa para os usuários do sistema (que pagarão

efetivamente a conta de energia). Neste caso é muito importante realizar um estudo do custo total do sistema (ao longo de sua vida útil). Também é importante verificar a tarifa contratual, que pode ser bem menor no início do contrato, mas exige um consumo mínimo de gás (baseado na capacidade total), ou que pode ser menor apenas por um período curto de operação (por exemplo, cinco anos). Recomenda-se um estudo do perfil anual de carga térmica do edifício (não superdimensionado) e um contrato tarifário bem definido, válido para a vida útil do sistema;

- No estudo em questão, para a opção 06 ser melhor que a opção 01, a tarifa do gás natural deveria ser **reduzida de R$ 2,127/Nm³** para **R$ 0,403/Nm³**, uma vez que as tarifas de consumo de energia elétrica e consumo de água já estão previamente definidas;
- No estudo em questão, para a opção 06 ser melhor que a opção 01, considerando a tarifa vigente para o gás natural, o COP/ IPLV do **Chiller com ciclo de Absorção** deveria ser de **pelo menos 3,471 kW/kW**, o que ainda não é possível;
- Quando a fonte de energia para aquecimento do gerador do *chiller* com ciclo de absorção for rejeito de calor de outro processo (cogeração, gases de queima de outro processo, água quente de resfriamento de motores de combustão ou turbinas, queima de resíduos sólidos etc.), que resulte em custo mínimo, esta pode ser a melhor opção.

3- CHILLER PARAFUSO

Clique nas imagens para ampliar

Muitas empresas procuram por uma maneira eficiente e econômica para realizar o resfriamento em equipamentos, produtos e até mesmo do ar. Os chillers são a resposta, por ser um sistema completo de refrigeração, que podem ser encontrados em modelos que se adéquam eficientemente as necessidades da empresa. Apesar de serem grandes unidades que funcionam a base de eletricidade, o consumo de energia dos chillers é muito baixo, o que faz deles um dispositivo de ótimo custo benefício.

Chiller parafuso de condensação de ar

Dentre os modelos mais usados desse dispositivo, está o chiller parafuso, que pode ser dividido em condensação de ar ou de água. Um chiller parafuso de condensação a ar é muito usado em estabelecimentos industriais. Sua forma de operar é silenciosa, pois possui barreiras acústicas, o que lhe garante melhor adaptabilidade em prédios ou locais com espaços reduzidos.

O chiller parafuso com condensação a ar, pode fornecer água resfriada para ares condicionados ou até mesmo para arrefecimento de processos. Dentre as grandes

vantagens do chiller parafuso está o oferecimento de um fluxo contínuo de ar. Eles são equipamentos confiáveis, criados para diminuir os gastos com manutenção.

Com um desenho simplificado, o chiller parafuso de condensação a ar oferece uma eficiente combinação de carga parcial e total. Alguns modelos, para atenuar as pulsações de descarga e diminuir o nível de barulho, possuem compressores sem vibração e com, normalmente, dois silenciadores. Além disso, modelos de chiller parafuso que possuem condensação a ar podem ter uma chave padronizada com uma única entrada trifásica.

Chiller parafuso de condensação de água

O chiller parafuso com condensação a água é muito usado, tanto em indústrias, como em estabelecimentos comerciais. Ele se apresenta como uma alternativa precisa de controle de temperatura, e pode ser usado em diversas aplicações. Esse modelo de chiller conta com um compressor de eixo duplo que possui rotações opostas. Todo o gás refrigerante que adentra a câmera é projetado e comprimido por meio dos parafusos.

Mostrando-se um modelo igualmente facilitado, o chiller parafuso com condensação de água requer, em média, apenas uma troca de óleo por ano. Problemas com alinhamento dos eixos ou com engrenagem costumam ser raros nesses dispositivos. Alguns de seus modelos possuem capacidades de monitoramento ou controle.

Se você procura um desses dois modelos de chiller, o equipamento ideal está na Transcalor, uma empresa que conta com tradição no segmento de climatização, refrigeração de processos e trocadores de calor. Com profissionais qualificados e produtos alinhados com as tecnologias atuais, a Transcalor trabalha de forma eficiente para atender e realizar o melhor serviço para seus clientes. Entre em contato e peça já um orçamento.

4- O QUE É UM CHILLER? SAIBA TUDO SOBRE O SISTEMA DE REFRIGERAÇÃO QUE ESTÁ MUDANDO O MERCADO.

Além de ser muito mais potente que o sistema split, os aparelhos de ar condicionado chiller são mais econômicos e controlam temperatura e umidade relativa do ar de maneira otimizada. Atualmente, encontramos chillers de diferentes tipos no mercado, cada um eles apresenta um funcionamento e uma aplicação diferenciada.

Quer saber quais os tipos mais populares de chiller e como eles funcionam? A eletrofrigor vai te contar tudo sobre o assunto.

Afinal, o que é um Chiller?

Um chiller é um aparelho de ar condicionado com sistema baseado no resfriamento de água. De maneira resumida, ele resfria grandes ambientes através de água gelada e não apenas fluido refrigerante. Esses equipamentos são indicados para

refrigeração de grandes espaços. Sua potência é medida em toneladas de refrigeração, podendo chegar até 250 TR.

Cada tonelada de refrigeração (TR) equivale à 12.000 BTUs/h. Chillers, portanto, possuem uma capacidade muito acima de qualquer aparelho split, cuja capacidade atinge no máximo 60.000 BTUS/h.
Normalmente, chillers mantém a temperatura da água por volta de 12ºC. No entanto, com o uso de aditivos anticongelantes como o etilenoglicol, esses sistemas podem alcançar temperaturas negativas facilmente.

A imagem mostra um sistema chiller da Hitachi.

Como funciona um sistema chiller?

Tudo começa com o fluido refrigerante fluindo do receptor para a válvula de expansão. Uma vez que esse fluido está na válvula, ela introduz o gás no evaporador, onde há um troca de calor com a água que passa pela serpentina.
Depois disso, o fluido refrigerante sai do evaporador e entra no compressor como um gás frio e sai como um gás quente, em alta pressão.
Logo após, passa pelo condensador, onde é resfriado pela água de condensação até ficar em estado líquido. Daí ele retorna ao receptor como líquido.

Ao fim do processo, a água de condensação é bombeada para a torre de resfriamento. Nessa fase do processo, os **fan coils** agem como evaporadoras, levando o ar resfriado para o ambiente.

Quais são os tipos de chillers? Quais as suas vantagens?

Atualmente, existem dois principais tipos de chillers sendo usados na refrigeração brasileira, os de condensação a água e os de condensação a ar. Ambos oferecem vantagens como o baixo consumo de energia e uma escala de variação de tempertura bastante ampla.

Isso torna os chillers aparelhos versáteis e com um custo benefício sem igual principalmente para aplicações industriais e comerciais. Quer saber mais sobre esses dois tipos de chiller? Vamos te contar tudo.

Chiller de Condensação a água

Os chillers de condensação a água são equipamentos extremamente versáteis e econômicos. Eles funcionam de forma silenciosa e, por conta disso, são muito populares em aplicações hospitalares ou em grandes escritórios.

Existem dois tipos de compressores mais aplicados nesse tipo de chiller – o centrífugo e os parafuso. O chiller de condensação a água pode chegar a uma potência de até 2.000TR.

Os equipamentos mais potentes utilizam os compressores parafuso. Apesar de representarem um alto investimento inicial, chillers de condensação a água oferecem maior capacidade de refrigeração por um custo energético reduzido, apresentando um ótimo custo-benefício a longo prazo.

Chiller de Condensação a ar

Esses tipos de chiller também utilizam compressores scroll e parafuso. Sua potência pode chegar até 350TR, durante seu funcionamento. Esses são equipamentos robustos e duráveis. São mais popularmente aplicados em sistemas de refrigeração industrial.

Esses também são equipamento robustos, com poucas partes móveis. Isso quer dizer que a sua manutenção é mais centralizada e simples.

Como funciona a manutenção desse tipo de sistema?

Apesar de ser um sistema bem diferente, chillers têm um processo de manutenção parecido com os aparelhos de refrigeração convencionais e deve ser feita com a frequência indicada pelo fabricante.

A limpeza das serpentinas deve ser feita periodicamente, para retirar sujeiras que possam comprometer o rendimento do aparelho.

Já as aletas devem ser mantidas retas e separadas, além de também precisarem de limpeza constante. Além disso, os ventiladores e suas pás precisam de lubrificação e limpeza, para trabalharem corretamente.

A imagem mostra uma série de equipamentos chillers da Carrier.

Qual a diferença entre chiller e fan coil?

O chiller e o fan coil são duas partes do mesmo sistema de refrigeração. O chiller poderia ser comparado ao condensador de uma unidade split, onde as trocas de calor acontecem. Já o fan coil poderia ser comparado à unidade evaporadora, que força a passagem do ar refrigerado pela água diretamente para o ambiente.

5- CONHECIMENTOS EM ELETRICIDADE

A **eletricidade** é um termo geral que abrange uma variedade de fenômenos resultantes da presença e do fluxo de carga elétrica.[1] Esses incluem muitos fenômenos facilmente reconhecíveis, tais como relâmpagos, eletricidade estática, e correntes elétricas em fios elétricos. Além disso, a eletricidade engloba conceitos menos conhecidos, como o campo eletromagnético e indução eletromagnética.[2]

A palavra deriva do termo em neolatim *"ēlectricus"*, que por sua vez deriva do latim clássico *"electrum"*, "amante do âmbar", termo esse cunhado a partir do termo grego ήλεκτρον (elétrons) no ano de 1600 e traduzido para o português como âmbar. O termo remonta às primeiras observações mais atentas sobre o assunto, feitas esfregando-se pedaços de âmbar e pele.

No uso geral, a palavra "eletricidade" se refere de forma igualmente satisfatória a uma série de efeitos físicos. Em um contexto científico, no entanto, o termo é muito geral para ser empregado de forma única, e conceitos distintos contudo a ele diretamente relacionados são usualmente melhor identificados por termos ou expressões específicos.

Alguns conceitos importantes com nomenclatura específica que dizem respeito à eletricidade são:

- Carga elétrica: propriedade das partículas subatômicas que determina as interações eletromagnéticas dessas. Matéria eletricamente carregada produz, e é influenciada por, campos eletromagnéticos. Unidade SI (Sistema Internacional de Unidades): ampère segundo (A.s), unidade também denominada coulomb (C).[3]
- Campo elétrico: efeito produzido por uma carga no espaço que a contém, o qual pode exercer força sobre outras partículas carregadas. Unidade SI: volt por metro (V/m); ou newton por coulomb (N/C), ambas equivalentes.[4]
- Potencial elétrico: capacidade de uma carga elétrica de realizar trabalho ao alterar sua posição. A quantidade de energia potencial elétrica armazenada em cada unidade de carga em dada posição. Unidade SI: volt (V); o mesmo que joule por coulomb (J/C).[5]

- Corrente elétrica: quantidade de carga que ultrapassa determinada secção por unidade de tempo. Unidade SI: ampère (A); o mesmo que coulomb por segundo (C/s).[6]
- Potência elétrica: quantidade de energia elétrica convertida por unidade de tempo. Unidade SI: watt (W); o mesmo que joules por segundo (J/s).[7]
- Energia elétrica: energia armazenada ou distribuída na forma elétrica. Unidade SI: a mesma da energia, o joule (J).
- Eletromagnetismo: interação fundamental entre o campo magnético e a carga elétrica, estática ou em movimento.[1][2]

O uso mais comum da palavra "eletricidade" atrela-se à sua acepção menos precisa, contudo. Refere-se a:

- Energia elétrica (referindo-se de forma menos precisa a uma quantidade de energia potencial elétrica ou, então, de forma mais precisa, à energia elétrica por unidade de tempo) que é fornecida comercialmente pelas distribuidoras de energia elétrica. Em um uso flexível contudo comum do termo, "eletricidade" pode referir-se à "fiação elétrica", situação em que significa uma conexão física e em operação a uma estação de energia elétrica. Tal conexão garante o acesso do usuário de "eletricidade" ao campo elétrico presente na fiação elétrica, e, portanto, à energia elétrica distribuída por meio desse.

Embora os primeiros avanços científicos na área remontem aos séculos XVII e XVIII, os fenômenos elétricos têm sido estudados desde a antiguidade. Contudo, antes dos avanços científicos na área, as aplicações práticas para a eletricidade permaneceram muito limitadas, e tardaria até o final do século XIX para que os engenheiros fossem capazes de disponibilizá-la ao uso industrial e residencial, possibilitando assim seu uso generalizado. A rápida expansão da tecnologia elétrica nesse período transformou a indústria e a sociedade da época. A extraordinária versatilidade da eletricidade como fonte de energia levou a um conjunto quase ilimitado de aplicações, conjunto que em tempos modernos certamente inclui as aplicações nos setores de transportes, aquecimento, iluminação, comunicações e computação. A energia elétrica é a espinha dorsal da sociedade industrial moderna, e deverá permanecer assim no futuro.[8]

História

Thales, o pioneiro pesquisador da eletricidade

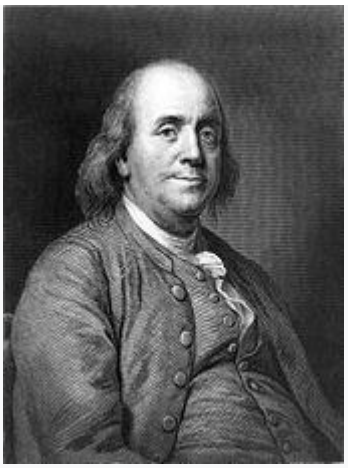
Muito tempo antes de qualquer conhecimento científico sobre a eletricidade, as pessoas já estavam cientes dos choques desferidos pelo peixe-elétrico. No Antigo Egito, remontando ao ano de 2750 a.C, havia textos que referiam-se a esse peixe como o "Trovão do Nilo", descrevendo-o como o protetor de todos os outros peixes. Encontra-se o peixe-elétrico também retratado em documentos e estudos antigos realizados por naturalistas, médicos, ou simples interessados que viveram na Grécia Antiga, no Império Romano e na região da civilização islâmica.[9] Vários escritores antigos, como Caio Plínio Segundo e Scribonius Largus, atestaram ciência do efeito anestesiante dos choque elétricos do peixe-gato e da arraia elétrica, e de que os choques elétricos podem viajar ao longo de certos objetos condutores de eletricidade.[10]

Na época, os pacientes que sofriam de gota e de dor de cabeça eram aconselhados a tocar o peixe-elétrico na esperança de que os poderosos choques elétricos desferidos por esse animal pudessem curá-los.[11]

As primeiras referências relacionadas de forma ora remota ora mais próxima à identidade elétrica do raio e à existência de outras fontes distintas de eletricidade são possivelmente as encontradas junto aos árabes, que seguramente já empregavam antes do século XV a palavra (*raad*), raio em seu idioma, a fim de se fazer referência às arraias elétricas.[12]

Nas culturas antigas ao longo de todo o Mediterrâneo sabia-se que determinados objetos, a exemplo pedaços de âmbar, ganham a propriedade de atrair pequenos e leves objetos, tais como penas, após atritados com pele de gato ou similar. Por volta de 600 a.C.. Tales de Mileto fez uma série de observações sobre eletricidade estática, as quais levou-o a acreditar que o atrito era necessário para produzir magnetismo no âmbar; em visível contraste com o que se observa em minerais tais como magnetita, que não precisam de fricção.[13][14]

Thales enganou-se ao acreditar que a atração era devida a um efeito magnético e não a um efeito elétrico, havendo a ciência evidenciado de forma correta a ligação que Thales esboçou fazer entre eletricidade e magnetismo somente milênios mais tarde (experiência de Ørsted, 1820 d.C). Em acordo com uma teoria controversa, os habitantes da região de Parthia, nordeste do atual Irã, conheciam a galvanoplastia, baseando-se tal afirmação na descoberta de 1936 da bateria de Bagdá, artefato que de fato, embora certamente incerta a natureza elétrica do mesmo, em muito se assemelha a uma célula galvânica.[15]



Benjamin Franklin desenvolveu uma grande pesquisa sobre a eletricidade no século XVIII, que é documentado por Joseph Priestley (em 1767) no livro *History and Present Status of Electricity*, com quem Franklin trocou correspondências.

A eletricidade permaneceria pouco mais do que uma curiosidade intelectual por milênios, pelo menos até 1600, quando o cientista inglês William Gilbert publicou um estudo cuidadoso sobre magnetismo e eletricidade, o "De Magnete", entre outros distinguindo de forma pertinente o efeito da pedra-imã e o da eletricidade estática

produzida ao se esfregar o âmbar com outro material [13]. Foi ele quem cunhou a palavra neolatina "electricus" ("de âmbar" ou "como âmbar", de *ήλεκτρον* [*elektron*], a palavra grega para "âmbar") para referir-se à propriedade do âmbar e de outros corpos atraírem pequenos objetos depois de friccionados.[16] Esta associação deu origem às palavras inglesa "electric" e "electricity", que fez sua primeira aparição na imprensa nas páginas de *Pseudodoxia Epidemica*, obra de Thomas Browne, em 1646.[17]. Também encontram-se ai as raízes das palavras portuguesas elétrico e eletricidade.

Outros trabalhos seguiram-se, sendo esses conduzidos por pessoas como Otto von Guericke, Robert Boyle, Stephen Gray e Charles Du Fay. No século XVIII, Benjamin Franklin realizou uma ampla pesquisa sobre a eletricidade, inclusive vendendo seus bens para financiar seu trabalho. É a ele atribuído o ato de, em junho de 1752, ter prendido uma chave de metal próximo à barbela de uma pipa e, com a chave atada à linha umedecida, tê-la feito voar em uma tempestade ameaçadora.[18] É incerto se Franklin pessoalmente realizou de fato esse experimento, mas o ato é popularmente atribuído a ele. Uma sucessão de faíscas saltando de uma segunda chave atada à linha para o dorso da sua mão teria então mostrado-lhe de maneira contundente que o raio tem, de fato, uma natureza elétrica.[19]

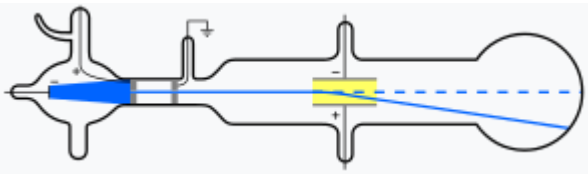
Michael Faraday formou a base da tecnologia de motores elétricos.

Em 1791, Luigi Galvani publicou sua descoberta da bioeletricidade, demonstrando que é por meio da eletricidade que as células nervosas passam sinais para os músculos.[20]

A pilha voltaica de Alessandro Volta, ou simplesmente bateria, datada de 1800 e feita a partir de camadas alternadas de zinco e cobre, forneceu aos cientistas uma fonte mais confiável e estável de energia elétrica do que as antigas máquinas eletrostáticas.[20] A advento do eletromagnetismo, união da eletricidade e do magnetismo, é creditada à dupla Hans Christian Ørsted e André-Marie Ampère, seus trabalhos remontando aos anos 1819 e 1820; Michael Faraday inventou o motor elétrico em 1821, e Georg Ohm analisou matematicamente o circuito elétrico em 1827 .[20] A eletricidade e o magnetismo (e também a luz) foram definitivamente unidos por James Clerk Maxwell, em particular na obra "On Physical Lines of Force", entre 1861 e 1862.[21]

Embora o rápido progresso científico sobre a eletricidade remonte a séculos anteriores e ao início do século XIX, foi nas décadas vindouras do século XIX que deram-se os maiores progresso na engenharia elétrica. Através dos estudos de Nikola Tesla, Galileo Ferraris, Oliver Heaviside, Thomas Edison, Ottó Bláthy, Ányos Jedlik, Sir Charles Parsons, Joseph Swan, George Westinghouse, Werner von Siemens, Alexander Graham Bell e Lord Kelvin, a eletricidade transformou-se de uma curiosidade científica a uma ferramenta essencial para a vida moderna, ou seja, transformou-se na força motriz da Segunda Revolução Industrial.[22]

Descargas elétricas e raios catódicos[editar | editar código-fonte]



Tubo de raios catódicos usado por Thomson na determinação da razão carga-massa do elétron.

Durante a descoberta da eletricidade um enigma ainda pairava sobre tipos de radiação existentes, uma delas chamada de radiação de raios catódicos , emitida por superfícies metálicas quando uma voltagem é aplicada entre o cátodo e o ânodo.[23]

Havia duas correntes de pensamento acerca da natureza dos raios catódicos: uma delas acreditava que se tratava de partículas; a outra acreditava que fossem um fenômeno ondulatório que dependia do meio. A interferência ondulatória era apoiada pela observação de que os raios catódicos podiam atravessar folhas de metal sem serem defletidos. O conflito sobre a dualidade onda-partícula, como veremos, vai reaparecer mais tarde, em outro contexto.

Em 1885, J. H. Geissler (1815-1879) inventou uma bomba que permitia extrair o ar

de um tubo de vidro até uma pressão da ordem de vez a pressão atmosférica. Essa bomba foi usada entre 1858 e 1859 numa série de experimentos para estudar a condução de eletricidade em gases a pressões muito baixas. Esses experimentos foram feitos por J. Plucker (1801-1868). No seu arranjo experimental, duas placas de metal dentro de um tubo de gás eram conectadas através de fios a uma fonte de alta tensão. No entanto, esse “vácuo" não era perfeito, e os cientistas foram levados a hipóteses errôneas sobre a natureza dos raios catódicos, como mais tarde se aprendeu tratar-se de efeitos do gás residual dentro do tubo.

É nesse ponto que J. J. Thomson entra na história. O ingrediente fundamental que lhe permitiu a descoberta da natureza dos raios catódicos – os elétrons - foi o desenvolvimento de bombas a vácuo 10 vezes mais eficientes do que as anteriores

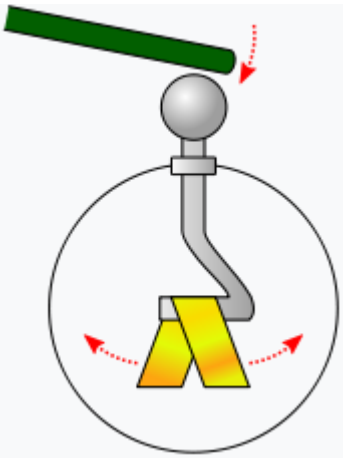
Conceitos

Carga elétrica

A carga elétrica é a propriedade dos entes físicos fundamentais, certamente das partículas subatômicas, que dá origem e interage via forças eletromagnéticas, uma das quatro forças fundamentais na natureza. A carga na matéria extensa origina-se no átomo, sendo os portadores de carga mais conhecidos o elétron e o próton. A carga elétrica obedece a uma lei de conservação, o que significa dizer que a quantidade líquida total de carga no interior de um sistema isolado sempre permanece constante, sendo a carga total essencialmente independente de qualquer mudança que ocorra no interior do sistema.[24]

No interior do sistema, carga pode ser transferida entre corpos, quer pelo contato direto, quer passando através de um material condutor como um fio, ou mesmo através de portadores de carga movendo-se livremente no vácuo.[25]

A expressão tradicional "eletricidade estática" se refere à presença de carga, ou melhor, de um desequilíbrio de cargas em um corpo, o que é geralmente causado quando se tem materiais quimicamente diferentes esfregados entre si, o que leva à transferência de cargas de um para o outro.



Uma pequena quantidade de carga elétrica em um eletroscópio de folhas é capaz de provocar notória repulsão das folhas do eletroscópio.

A presença de carga dá origem à força eletromagnética: cargas exercem força uma sobre a outra, efeito certamente conhecido, embora não compreendido, já na antiguidade.[26]

Uma pequena esfera condutora suspensa por um fio isolante pode ser carregada através do toque de um bastão de vidro previamente carregado devido ao atrito com um tecido de algodão. Se um pêndulo similar é carregado pelo mesmo bastão de vidro, encontra-se que este irá repelir aquele: as cargas agem de forma a separar os pêndulos. Dois pêndulos carregados via bastão de borracha também repelir-se-ão mutuamente. Entretanto, se um pêndulo for carregado via bastão de vidro, e o outro for carregado via bastão de borracha, os pêndulos, quando aproximados, atrair-se-ão mutuamente. Esse fenômeno foi investigado no século XVIII por Charles-Augustin de Coulomb, que deduziu que as cargas apresentam-se em duas formas distintas. Suas descobertas levam ao bem conhecido axioma: objetos carregados

com cargas similares se repelem, objetos carregados com cargas opostas se atraem.

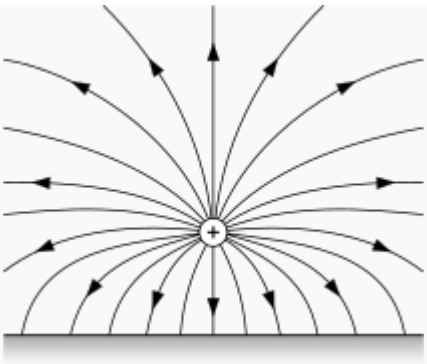
A força atua sobre as cargas propriamente ditas, do qual segue que as cargas têm a tendência de se distribuir de forma a mais uniforme ou conveniente possível sobre superfícies condutoras. A magnitude da força eletrostática, quer atrativa quer repulsiva, é dada pela Lei de Coulomb, que a relaciona ao produto das cargas e retrata a relação inversa empiricamente observada dessa com o quadrado da distância que separa as cargas. A força eletromagnética é muito forte, sendo subjugada apenas pela força de interação forte (força nuclear); contudo, ao contrário desta última, que atua entre partículas separadas por não mais que alguns angstroms (1 angstrom = 1 x 10^{-10}m), a força eletromagnética é uma força de longo alcance, ou seja, uma força que atual a qualquer distância, embora o faça certamente de forma muito mais fraca quanto maior for a separação. Em comparação com a muito mais fraca força gravitacional, a força eletromagnética que repele dois elétrons próximos mostra-se 10^{+42} vezes maior do que a força de atração gravitacional que um exerce sobre o outro mantida a mesma separação.

As cargas do próton e do elétron são opostas em sinal, implicando que uma quantidade de carga pode ser ou positiva ou negativa. Por convenção e por razões históricas, a carga associada a um elétron é considerada a negativa, e a carga associada a um próton, positiva, um costume que originou-se com os trabalhos de Benjamin Franklin.[27] A quantidade de carga é usualmente representada pelo símbolo Q e expressa em coulombs; cada elétron transportando a mesma carga fundamental cujo valor é aproximadamente -1,6022x10^{-19} coulomb. O próton tem carga igual em módulo contudo oposta em sinal, +1,6022x10^{-19} coulomb. Não apenas partículas de matéria possuem carga mas também as partículas de antimatéria, cada partícula carregando uma carga de igual valor mas de sinal oposto ao da carga da sua correspondente antipartícula.[28]

Cargas elétricas podem ser medidas de diferentes formas, um dos mais antigos instrumentos sendo o eletroscópio de folhas, que embora ainda em uso em demonstrações escolares, já há muito foi substituído pelo eletrômetros (coulombímetros) eletrônicos.

Campo elétrico

O conceito de campo foi introduzido por Michael Faraday ainda no século XIX, contudo sua adoção inicialmente como ferramenta matemática para o tratamento dos problemas correlatos tornou-se tão frutífera que hoje é praticamente impossível conceber-se um tratamento mais aprofundado em eletricidade, magnetismo ou eletromagnetismo sem que se lance mão do mesmo. As equações de Maxwell são todas escritas em função dos campos elétricos e magnéticos. Em termos do campo aqui pertinente, o campo eletrostático, sabe-se que toda carga elétrica cria no espaço que a contém um campo elétrico, e qualquer carga elétrica imersa em um campo que não o campo por ela mesmo criado encontrar-se-á solicitada por uma força elétrica em virtude do mesmo. O campo elétrico age entre dois corpos carregados de uma maneira similar à ação do campo gravitacional entre duas massas, e assim como este, estende-se até o infinito, exibindo contudo uma relação com o inverso do quadrado da distância, de forma que, se a distância aumentar, muito menor será seu efeito; e associado, muito menor será também a interação entre as cargas envolvidas. Embora as semelhanças sejam significativas, há entretanto uma importante diferença entre os campos eletrostáticos e os gravitacionais: a gravidade sempre implica atração entre as massas, contudo a interação entre um campo e a carga pode expressar atração ou repulsão entre as cargas elétricas. Como os grandes corpos massivos no universo, a exemplo os planetas ou estrelas, quase sempre não têm carga elétrica, os campos elétricos a estes devidos valem zero, de forma que a força gravitacional é de longe a força dominante ao considerarem-se dimensões astronômicas, mesmo sendo esta muito mais fraca do que a força elétrica. Os movimentos dos corpos celestes são devidos essencialmente à gravidade que geram e que neles agem.



As linhas do campo emanando de uma carga elétrica positiva sobre um plano condutor

O campo eletrostático geralmente varia no espaço, e o seu módulo em um dado ponto é definido como a força por unidade de carga elétrica (newtons por coulomb) que seria experimentada por uma carga elétrica puntiforme de valor negligenciável quando colocada no referido ponto.[29] Esta carga elétrica hipotética, nomeada carga de prova, deve ser feita extremamente pequena a fim de se prevenir que o campo elétrico por ela criado venha a perturbar a distribuição de cargas responsável pelo campo o qual deseja-se determinar, e deve ser feita estacionária a fim de se prevenir eventuais influências de campos magnéticos uma vez que esses últimos atuam apenas sobre cargas elétricas em movimento. A definição de campo elétrico faz-se de forma dependente do conceito de força, essa uma grandeza vetorial. Tem-se pois, em acordo com a definição, que o campo elétrico configura-se como um campo vetorial, tendo o vetor campo elétrico associado a cada ponto em particular uma direção e uma módulo (valor) característicos também particulares.

O estudo das cargas elétricas estacionárias e dos campos elétricos criados por essas é denominado eletrostática. A mais usual representação e um campo vetorial é a representação por linhas. Uma representação direta seria a representação do campo de vetores, onde desenham-se os respectivos vetores campo elétrico em um número suficientemente grande de pontos do espaços a ponto de tornar o diagrama representativo o necessário contudo não confuso. A representação por linhas emerge naturalmente desse último ao observar-se que os vetores dispõem-se no diagrama vetorial no caso de problemas físicos notoriamente de forma a sugestionar um padrão de linhas contínuas. Verificou-se que esse padrão de linhas sugerido poderia ser utilizado para representar um campo vetorial tão bem como o padrão por

vetores, com a vantagem de ser de representação mais nítida e fácil. Nesse padrão, as linhas são usualmente, no caso elétrico ou gravitacional, denominadas "linhas de força". A nomenclatura não é contudo a mais adequada ao caso da representação por linhas do campo magnético. Na representação por linhas verifica-se que duas linhas nunca se cruzam; que o vetor campo em um dado ponto é tangente à linha que passa pelo respectivo ponto; que as linhas são orientadas de forma condizente com os vetores; que o módulo de um vetor é proporcional à densidade espacial de linhas em sua vizinhança imediata. Quando propostos, os campos não apresentavam existência real, esse permeando todos os pontos do espaço mesmo os pontos entre linhas em qualquer representação por linhas. Os campos elétricos que emanam das cargas elétricas estacionárias têm as seguintes propriedades: as linhas de campo iniciam-se em cargas positivas e terminam em cargas negativas; as linhas de campo eletrostático deve encontrar as superfícies de quaisquer bons condutores elétricos em ângulo reto; e obviamente, elas nunca devem se cruzar.[30]

Um condutor oco carrega todas as suas cargas em sua superfície. O campo por elas determinado é zero em todos os pontos internos ao corpo.[31] Esse é o princípio de funcionamento da gaiola de Faraday; uma blindagem condutora isola todos o seu interior de efeitos eletrostáticos externos.

Os princípios da eletrostática mostram-se importantes em projetos de equipamentos para trabalho sobre alta tensão elétrica. Há um valor finito de campo elétrico admissível para cada meio diferente. Além desse limite, ocorre uma rutura dielétrica acompanhada de arco elétrico entre as partes carregadas envolvidas. A exemplo, para o ar confinado entre pequenas frestas campos elétricos superiores a 30 quilovolts por centímetro levam à rutura dielétrica. Para grandes espaçamentos a tensão de rutura é um pouco menor, da ordem de 1 kV por centímetro.[32] A forma mais natural de se visualizar tal situação é observar os raios, usualmente provocados por tensões elétricas tão grandes quanto 100 megavolts, implicando dissipações de energias usualmente da ordem de 250 kWh.[33]

A intensidade do campo elétrico é consideravelmente afetada nas proximidades de objetos condutores, sendo particularmente intenso nas proximidades de extremidades pontiagudas. Esse princípio é explorado nos para-raios, onde as

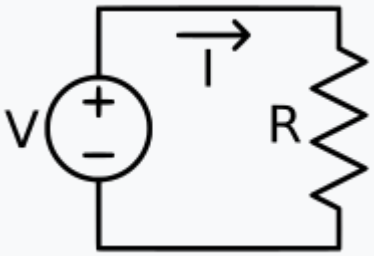
pontas em sua extremidade elevada atuam de forma a encorajar os raios a atingi-los em detrimento das estruturas abaixo.[34]

Potencial elétrico

O potencial elétrico em qualquer ponto é definido como a energia necessária para trazer uma carga unitária de teste de uma distância infinita até aquele ponto. É usualmente medida em volts, e um volt é o potencial para o qual um joule de trabalho deve ser expendido para trazer uma carga de um coulomb do infinito até aquele ponto.[35]:494–498

Potência elétrica

Circuito elétrico



Um circuito elétrico básico. O gerador de tensão *V* na direção esquerda de um Circuito elétrico *I* em torno do circuito, na entrega de energia elétrica dentro do resistor *R*. Para o resistor,a corrente volta para o gerador,completando o circuito.

Um circuito elétrico é uma interconexão de componentes elétricos de tal forma que a carga elétrica é feita fluir ao longo de um caminho fechado (um circuito), geralmente com o objetivo de transferir-se energia e executar alguma tarefa útil.

Há componentes elétricos os mais variados, encontrando-se em um circuito elétrico não raro peças como resistores, capacitores, indutores, transformadores e interruptores. Os circuitos eletrônicos usualmente contêm componentes ativos, geralmente semicondutores, os quais caracterizam-se pelo funcionamento não-linear e demandam análise mais avançada. Os componentes elétricos mais simples são chamados passivos ou lineares: embora possam armazenar temporariamente energia, eles não constituem

fontes da mesma, e apresentam respostas lineares aos estímulos elétricos aos quais são aplicados.[36]

O resistor é o componente mais simples entre os passivos: como o nome sugere, o resistor limita a corrente que pode fluir através do circuito. Transforma toda a energia elétrica que recebe em energia térmica, essa transferida ao ambiente que o cerca via calor. Ao passo que o nome resistor designa geralmente o componente em si, a resistência elétrica é uma propriedade dos resistores que busca mensurar o efeito resistivo. Mostra-se diretamente relacionada à oposição e à forma como os portadores de carga elétrica se movem no interior de um condutor ou semicondutor: nos metais, por exemplo, a resistência é principalmente atribuída às colisões entre os elétrons e os íons. Impurezas e imperfeições na estrutura contribuem em muito para o aumento da resistência a ponto de justificar o processo de purificação pelo qual os metais são submetidos antes da confecção de estruturas condutoras como os fios ou barramentos elétricos.

A Lei de Ohm é uma lei básica da teoria do circuito. Estabelece que a corrente que se fará presente em um resistor é diretamente proporcional à diferença de potencial entre os terminais do mesmo. A resistência de muitas estruturas materiais é relativamente constante em uma faixa de temperaturas e correntes; sendo em tais condições denominados 'ôhmicos'. A unidade de resistência elétrica, o *ohm*, assim nomeada em honra a Georg Ohm, é simbolizada pela letra grega Ω. 1 Ω é a resistência de um resistor que desenvolve entre seus terminais uma diferença de potencial de um volt quando submetido a uma corrente de um ampère (ou vice-versa).[36]

O capacitor é um dispositivo capaz de armazenar carga elétrica bem como energia elétrica no campo elétrico resultante. Conceitualmente, ele é composto por duas placas condutoras paralelas separadas por uma fina camada isolante. Na prática, são compostos por duas lâminas finas de metal separadas por uma lâmina de material isolante, todas enroladas juntas de forma a aumentar a área de superfície por unidade de volume e, portanto, a capacitância. A unidade de capacitância é, em homenagem a Michael Faraday, o farad, e à unidade é dada o símbolo "F": um farad é a capacitância de um capacitor que desenvolve em seus terminais uma diferença de potencial de um volt quando nele encontra-se armazenada uma carga elétrica de

um coulomb (ou vice-versa). A capacitância de um capacitor é determinada através da razão entre a carga que esse armazena e a tensão elétrica em seus terminais, do que decorre a igualdade: 1F = 1C/1V. Um capacitor ligado a uma fonte de tensão constante permite inicialmente a presença de uma corrente intensa durante o processo inicial de acúmulo de carga; essa corrente entretanto decai gradualmente à medida que o capacitor acumula carga e a tensão elétrica em seus terminais aumenta, e eventualmente anula-se após o tempo necessário à carga completa do capacitor, situação onde a tensão em seus terminais iguala-se à da fonte. Um capacitor, portanto, não permite em tais situações a existência de correntes estacionárias (correntes contantes); ao contrário, as proíbe.[36]

O indutor é um condutor, geralmente uma bobina ou enrolamento de fio encapado, que armazena energia no campo magnética que surge em resposta à corrente que faz-se fluir através dele. Quando a corrente altera-se o campo magnético também altera-se, e há nesse momento, em consequência da lei da indução de Faraday, a indução de uma tensão elétrica entre os terminais do indutor. Verifica-se que a tensão induzida é proporcional à taxa de variação da corrente, sendo tanto maior quanto mais rápido se der a mudança na corrente. A constante de proporcionalidade é a chamada indutância do indutor. A unidade de indutância é *henry*, assim nomeada em homenagem a Joseph Henry, um contemporâneo de Faraday. Um henry é a indutância de um indutor que desenvolve uma diferença de potencial de um volt entre seus terminais quando a corrente entre os mesmos varia à taxa de um ampère por segundo.[36] O comportamento elétrico do indutor é em vários aspectos inverso ao do capacitor: ao passo que os capacitores opõem-se às mudanças repentinas na tensão entre seus terminais mas em nada limitam as correntes neles, os indutores opõem-se às mudanças repentinas na corrente, mas em nada limitam as tensões entre seus terminais.

Dadas as características complementares, a união de um capacitor e de um indutor produz um circuito elétrico ressonante, o conhecido circuito LC, no qual observa-se a troca constante de energia entre o indutor e o capacitor e vice-versa. A tensão e a corrente no circuito alteram-se continuamente em um padrão senoidal cujo período depende dos valores da capacitância e da indutância dos componentes envolvidos.

O acréscimo de uma parcela resistiva leva ao também bem estudado circuito RLC, no qual oscilações amortecidas são observadas.

Condutores e isolantes elétricos

Conforme antes definido, chama-se corrente elétrica o fluxo ordenado de elétrons em uma determinada seção. A corrente contínua tem um fluxo constante, enquanto a corrente alternada tem um fluxo de média zero, ainda que não tenha valor nulo todo o tempo. Esta definição de corrente alternada implica que o fluxo de elétrons muda de direção continuamente.

O fluxo de cargas elétricas pode gerar-se no vácuo ou em meio material adequado, caso no qual o material é então caracterizado como um condutor elétrico, mas não existe ou mostra-se completamente desprezível nos materiais ditos isolantes. Em um fio, há a presença dos dois tipos de materiais: a capa do fio encerra em seu interior, visto ser os metais por definição bons condutores de eletricidade, tipicamente um metal dúctil, a exemplo o cobre ou o alumínio, ao passo que a capa em si, dadas as funções práticas inerentes esperadas, é feita de material pertencente à classe dos bons isolantes elétricos.

Sobre materiais isolantes há de se ressalvar que na prática não há isolante elétrico perfeito. Os materiais isolantes são aqueles cujas estruturas químicas implicam todos os portadores de carga fortemente presos em suas posições, de forma que portadores de carga não podem mover-se livremente através das estruturas desses materiais. São tipicamente compostos covalentes, onde os elétrons encontram-se fortemente ligados aos respectivos orbitais de ligação ou aos orbitais mais internos aos átomos da molécula, ou ainda sólidos iônicos, onde algo similar ocorre, não se encontrando, contudo, orbitais ligantes nesse caso. Embora quando sujeitos a um campo elétrico moderado a localidade dos portadores de carga na estrutura material isolante se preserve, sob intensos campos elétricos as forças associadas podem ser suficientes para superar as forças que mantêm os elétrons ligados aos núcleos ou moléculas, caso no qual há uma ruptura súbita na capacidade isolante do material. Este ioniza-se e, em um processo quase instantâneo, deixa de ser isolante, tornando-se um bom condutor elétrico mesmo que por um curto intervalo de tempo.

O campo elétrico limite acima do qual o material isolante torna-se condutor é conhecido como rigidez dielétrica do material.

A origem dos raios durante tempestades fundamenta-se basicamente no princípio citado. As nuvens acumulam cargas elétricas até que a rigidez dielétrica do ar úmido seja atingida. No momento em que o material se torna condutor, as cargas fluem em um processo de avalanche entre o solo e a nuvem, ou entre nuvens, dando então origem ao efeito visual e sonoro característicos do fenômeno.

A eletricidade e o mundo natural

Efeitos fisiológicos

A aplicação de uma tensão elétrica ao corpo humano leva a uma corrente elétrica através dos tecidos, e embora a relação entre ambas as grandezas não seja linear, quanto maior a tensão, maior a corrente. Embora o limiar de percepção mostre-se significativamente dependente da frequência da fonte elétrica e do caminho da corrente através do corpo, sob certas condições uma corrente tão baixa quanto a de alguns microamperes já mostra-se perceptível através do efeito eletrovibratório que provoca. Se a corrente for suficientemente alta, ela poderá facilmente induzir a contração muscular, a fibrilação do coração e queimaduras significativas nos tecidos. A ausência de qualquer sinal visível de que um condutor encontra-se eletricamente energizado torna a eletricidade particularmente perigosa. A dor causada por um choque elétrico pode ser intensa, levando-a a ser empregada várias vezes como método de tortura. À morte causada por choque elétrico dá-se o nome de eletrocussão. Embora venha tornando-se cada vez mais rara em dias recentes, a eletrocussão ainda é uma forma de execução penal empregada em várias jurisdições ao redor do mundo.

REFERÊNCIAS

http://www.engenhariaearquitetura.com.br/2018/04/funcionamento-e-aplicacoes-dos-chillers-por-absorcao>acesso em 19/06/2020

http://www.engenhariaearquitetura.com.br/2019/07/estudo-comparativo-sobre-diferentes-tipos-de-chillers>acesso em 19/06/2020

http://www.transcalor.com.br/chiller-torre-resfriamento/chiller-parafuso>acesso em 19/06/2020

https://blog.eletrofrigor.com.br/o-que-e-um-chiller/>acesso em 19/06/2020

https://pt.wikipedia.org/wiki/Eletricidade>acesso em 19/06/2020