

ANÁLISE DE FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA PARA O SETOR TERCIÁRIO

Júlio Cesar Bimbato da Silva

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
julioimbato@gmail.com

Leticia Natalia Kons

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
leticia.kons@gmail.com

Resumo. Diversas empresas vêm procurando diversificar suas fontes de energia, pois se percebeu a importância de um desenvolvimento sustentável – devido à dependência da humanidade em fonte de energia esgotáveis – além disso, no Brasil, existe a ameaça da falta de energia, graças ao crescimento do país aliado aos grandes eventos que se aproximam – como a Copa do Mundo de 2014 e as Olimpíadas de 2016. Por isto, neste trabalho busca-se avaliar, a partir de dados de consumo de um edifício, a descrição da sua função – hospital, shopping ou hotel – e sua localização – se na região norte, nordeste, centro-oeste, sudeste e sul – dizer qual a melhor maneira deste empreendimento distribuir seus investimentos nas fontes alternativas de energia de estudo – solar, eólica, a gás, hidráulica e com cogeração. Para isto, foi feito um estudo de condições climáticas das regiões do Brasil e outro sobre consumo energético dos prédios. Depois, é feita a análise de viabilidade econômica de quatro configurações possíveis entre as fontes. Chegou-se a conclusão que esses quatro cenários são: só cogeração com uma micro turbina a gás, energia solar atrelada a energia elétrica da rede, energia eólica atrelada a energia elétrica da rede e energia eólica atrelada a solar. Para a análise econômica foram utilizados os conceitos de valor presente líquido (VPL) e taxa interna de retorno (TIR) dos projetos. A partir dos resultados obtidos observa-se que a cogeração é o projeto mais indicado para as regiões que possuem rede de gás instalada com uma TIR variando de 7% a 17%. Em segunda opção fica uma configuração de energia solar e eólica, mas com o pesar de ser um projeto puramente para sustentabilidade, sem retorno de capital.

Palavras chave: fontes; cogeração; energia; econômico.

1. Introdução

O Brasil está passando por uma fase de crescimento econômico e social e será sede de grandes eventos como a Copa do Mundo de Futebol em 2014 e as Olimpíadas em 2016. Com isso, a demanda energética brasileira está estimada a crescer 60% vezes nos próximos dez anos e, neste contexto, o problema de abastecimento de energia no país volta a ressurgir. Para evitar a escassez de energia é importante que o governo invista na matriz energética do país e, para os grandes consumidores, que trabalhem em busca de sua auto-suficiência energética. Vale ressaltar que estes investimentos devem ocorrer de maneira sustentável, pois se tem estabelecida pela sociedade a busca pela minimização dos impactos ambientais.

Dessa forma é notável o desenvolvimento de fontes alternativas de energia, principalmente as renováveis, como é o caso da energia proveniente das fontes solar e eólica. Além disso, convém ressaltar o desenvolvimento de sistemas cogenerativos, geralmente suprindo demandas térmicas e elétricas, que utilizam como fonte geralmente gás natural que é uma fonte barata e pouco poluente. O desenvolvimento desses sistemas fica evidente ao observar como eles têm se tornado cada vez mais compactos.

Por fim, este trabalho leva em consideração o quadro energético brasileiro buscando associar a prédios do terceiro setor, soluções inteligentes para a adoção de fontes alternativas de energia. Essa solução será feita levando em consideração as regiões nas quais os edifícios se encontram, visto que as condições climáticas têm uma profunda interferência nas fontes de energia, principalmente a solar e a eólica. De uma forma mais simples, busca-se avaliar, a partir de dados de consumo de um edifício, a descrição da sua função – hospital, shopping ou hotel – e sua localização – se na região norte, nordeste, centro-oeste, sudeste e sul – dizer qual a melhor maneira deste empreendimento distribuir seus investimentos nas fontes alternativas de energia de estudo – solar, eólica, a gás, hidráulica e com cogeração. Para tanto, a metodologia adotada está apresentada na Fig. (1).



Figura 1. Metodologia empregada no estudo.

2. Alternativas Energéticas

2.1. Energia Hidroelétrica

A contribuição da energia hidráulica na matriz energética nacional, segundo o Ministério de Minas e Energia (2011), é da ordem de 14%, participando com quase 77% de toda a energia elétrica gerada no País. Segundo PROINFA (2011), embora os maiores potenciais remanescentes estejam localizados em regiões com fortes restrições ambientais e

distantes dos principais centros consumidores, estima-se que, nos próximos anos, pelo menos 50% da necessidade de expansão da capacidade de geração seja de origem hídrica.

2.2. Energia Eólica

Recentes desenvolvimentos tecnológicos (sistemas avançados de transmissão, melhor aerodinâmica, estratégias de controle e operação das turbinas, etc.) têm reduzido custos e melhorado o desempenho e a confiabilidade dos equipamentos. Atualmente as fazendas eólicas seriam construídas com 90% de nacionalização. São produzidos no Brasil geradores eólicos, torres, transformadores e pás de 30 metros de comprimento. Estas são exportadas para a Alemanha e Estados Unidos. Isto faz com que o preço médio de projetos eólicos de pequeno e grande porte tenham reduzido nos últimos anos, tornando tal alternativa viável economicamente. Para se ter uma idéia o preço médio de projetos eólicos modernos e de grande porte (acima de 50 MW) é de US\$ 1.000-1.200/kW, segundo Sá (2011).

Quanto ao porte, as turbinas eólicas podem ser classificadas da seguinte forma: pequenas, também conhecidas como micro-eólicas, com potência nominal menor que 500 kW; médias, cuja potência nominal está entre 500 kW e 1000 kW; e grandes – potência nominal maior que 1 MW.

2.3. Energia Solar

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoeletrico e o fotovoltaico. O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito com o uso de coletores ou concentradores solares. Os coletores solares são mais usados em aplicações residenciais e comerciais (hotéis, restaurantes, clubes, hospitais e etc.) para o aquecimento de água (higiene pessoal e lavagem de utensílios e ambientes). Os concentradores solares destinam-se a aplicações que requerem temperaturas mais elevadas, como a secagem de grãos e a produção de vapor.

Quando utilizado para produção de vapor, pode-se gerar energia mecânica com o auxílio de uma turbina a vapor, e, posteriormente, eletricidade, por meio de um gerador. Contudo, a necessidade de focalizar a luz solar sobre uma pequena área exige algum dispositivo de orientação, acarretando custos adicionais ao sistema, os quais tendem a ser minimizados em sistemas de grande porte. Para a geração de eletricidade em escala comercial, o principal obstáculo tem sido o custo das células solares. Segundo ANEEL (2005), atualmente os custos de capital variam entre 5 e 15 vezes os custos unitários de uma usina a gás natural que opera com ciclo combinado. Contudo, nos últimos anos tem-se observado redução nos custos de capital. Os valores estão situados na faixa de US\$ 200 a US\$ 300 por MWh e entre US\$ 3 e US\$ 7 mil por kW instalado.

2.4. Gás Natural

Além de insumo básico da indústria gasoquímica, o gás natural tem-se mostrado cada vez mais competitivo em relação a vários outros combustíveis, tanto no setor industrial como no de transporte e na geração de energia elétrica. Nesse último caso, a inclusão do gás natural na matriz energética nacional, conjugada com a necessidade de expansão do parque gerador de energia elétrica e com o esgotamento dos melhores potenciais hidráulicos do país, tem despertado o interesse de analistas e empreendedores em ampliar o seu uso na geração termelétrica.

Segundo a Agência Internacional de Energia, a participação do gás natural no consumo mundial de energia é atualmente da ordem de 16,3%, sendo responsável por cerca de 18,3% de toda a eletricidade gerada no mundo. No Brasil, as reservas provadas são da ordem de 230 bilhões de m³, dos quais 48% estão localizados no Estado do Rio de Janeiro, 20% no Amazonas, 9,6% na Bahia e 8% no Rio Grande do Norte. A produção é concentrada no Rio de Janeiro (44%), no Amazonas (18%) e na Bahia (13%), segundo ANEEL (2011). A participação do gás natural na matriz energética brasileira ainda é pouco expressiva, da ordem de 5,6% do consumo final, de acordo com o Ministério de Minas e Energia (2011).

Foge ao escopo deste trabalho a análise das termoeletricas já que estas não são sustentáveis. Contudo a análise do mapa dos gasodutos no país é extremamente importante para o futuro ligamento com os sistemas de cogeração propostos.

3. Cogeração

A cogeração é uma alternativa que visa viabilizar economicamente a autoprodução de energia. Melhor definida na língua inglesa como CHP (*combined heat and power*), a cogeração trata-se da geração simultânea de energia térmica e elétrica, a partir da mesma fonte. A vantagem principal é o maior aproveitamento da energia contida na fonte, reduzindo consideravelmente os custos de produção da energia nas duas formas citadas.

A cogeração apresenta diversos aspectos que atraem as empresas para esta alternativa. A primeira que vem à tona é quanto à redução de custos operacionais. Em muitas empresas a participação do custo de energia no custo final do produto pode ser muito grande e a possibilidade de aumentar a eficiência no aproveitamento da energia adquirida é sempre atraente.

Outro ponto de grande importância está na confiabilidade. Um sistema de cogeração é, na prática, um sistema de autoprodução de energia elétrica, obtida de equipamentos reconhecidamente confiáveis e de combustíveis cujo fornecimento não está tão sujeito aos tipos de interrupções que, em certos lugares, ocorrem no suprimento de energia elétrica. Atualmente existem basicamente três tipos de geração de energia elétrica em sistemas cogenerativos – motores a combustão, turbina a vapor e turbina à gás. Todos eles necessitam de uma máquina capaz de utilizar o calor rejeitado pelo sistema que produz eletricidade. Como no caso estudado é necessário utilizar o calor rejeitado basicamente para a climatização de ambientes, foi utilizado um *chiller* de absorção para transformar o calor em água gelada, com posterior refrigeração de ar.

4. Estudo das regiões

Para definir as melhores alternativas energéticas, é necessário ter o conhecimento de informações como temperaturas médias e máximas, umidade relativa, ventos e índice UV. As cidades utilizadas como base para as regiões foram Manaus, São Paulo, Fortaleza, Curitiba e Brasília. Estes parâmetros são todos normalizados e através da norma ABNT NBR 16401-1 de 2008, foram obtidos tais dados.

5. Estudo dos Edifícios

Esse estudo consiste na análise de consumo energético dos edifícios estudados a fim de entender como se dá a demanda energética destes. Através dela foi possível estimar dados para entrada da análise, que não necessariamente representam um prédio real, e sim um modelo aproximado. Dado isso, eles podem ser substituídos para outros casos que desejam ser analisados. Por fim, aqui foram selecionados os dados mínimos necessários para a análise econômica completa das fontes de energia nos prédios.

Foi feito um levantamento de diversas informações referentes ao consumo energético em edifícios hospitalares nas referências Aguiar (2006), Conselho de Consumidores da Coelce (2000), Freire (2008), Danella e Jannuzzi (2006), Programa de Eficiência Energética (2008), Peccini (2002). Com isso, foi possível chegar aos dados de consumo médio de um hospital com aproximadamente 560 leitos e 2400 funcionários, tais dados estão apresentados na Tab. (1). Ainda com base nas mesmas referências, foi adotado como modelo de prédio, uma estrutura que apresenta 1000 m² de área. Foi adotado ainda que o fluxo de pessoas é de 1000 por dia.

Foi feito um levantamento sobre o Shopping de Brasília. Segundo Amorim (2004), a demanda média de tal shopping é próximo aos 550 MWh mensal, variando no decorrer dos meses, como mostrado na Tab. (1). Tal shopping é constituído de 150 lojas, espaço de alimentação, oito escadas rolantes, um elevador panorâmico, 3 pisos de garagem e 14 andares de centro empresarial. Segundo a mesma referência, temos ainda que a estrutura apresenta uma área de aproximada de 25000 m². O fluxo de pessoas é estimado em 1000 pessoas devido à presença do centro empresarial. Por se tratar de um centro de lazer, com grande fluxo de pessoas, é de extrema importância que as características atmosféricas, como temperatura e umidade do ar, sejam controladas. Isso faz com que o ambiente se torne agradável.

Com base nos dados coletados nos seguintes trabalhos de Melo, Westphal e Lamberts (2005), Demajorovic (2007), Lubitz, Otte e Cardoso Neto (2006) e Madeira (1999) foi possível ser feito um estudo de consumo mais detalhado a respeito da demanda de um hotel. A Tab. (1) mostra um resumo das informações adquiridas. Em cima das mesmas referências, foi estimado que o hotel tem uma área de 3000 m². O fluxo de pessoas é estimado com base no número de quartos e é aproximadamente igual a 250 pessoas por dia.

Tabela 1. Demanda de energia elétrica anual de cada um dos edifícios.

	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Hospital	247	265	282	227	219	203	198	187	205	203	247	276
Shopping	540	540	580	580	530	560	560	550	545	555	530	550
Hotel	55,7	52,7	52,3	51,2	46,0	26,9	32,4	42,9	49,8	44,9	29,3	37,0

6. Cálculo de Demanda Térmica

Os três prédios em estudo apresentam uma demanda de energia térmica, seja apenas para resfriamento do ambiente, como nos shoppings, como também para o aquecimento de água, como é o caso dos hotéis e hospitais. Dessa forma, surge a necessidade de mensurar essa demanda, de modo a propor uma alternativa viável para suprir tal necessidade, seja com o uso de cogeração a gás, ou até mesmo com outras fontes, como a solar. Para o cálculo de tal demanda, serão avaliados dois sistemas separadamente – o de ar condicionado e o de aquecimento de água.

6.1. Refrigeração

No caso do estudo da carga térmica necessária para manter o ambiente na temperatura desejada, foram utilizados parâmetros obtidos segundo ABNT (2008). O método de cálculo utilizado foi o CLTD / CLF apresentado em Haines e Wilson (1998).

O cálculo de carga térmica é utilizado geralmente para projetos de instalação de ar condicionado. O primeiro passo na rotina do cálculo é caracterizar o prédio ou ambiente a ser refrigerado. Nesta etapa, define-se a área externa do prédio que efetivamente troca calor com o ambiente, o tipo de revestimento desta área externa, o fluxo de pessoas que frequentam diariamente o local, a quantidade de lâmpadas instaladas, os equipamentos internos que geram calor. Esses dados estão divididos por prédio no item 4.

Após definir as características do prédio em estudo, deve-se realizar o estudo do ambiente em que o mesmo se encontra, definindo-se temperaturas externas (bulbo seco, bulbo úmido e orvalho), a umidade relativa e a pressão atmosférica. Foram utilizados médias mensais desses dados, apresentados em ABNT (2008).

É necessário definir, posteriormente, qual a temperatura, a umidade e a pressão desejadas no ambiente. Considerando que é desejável um clima agradável às pessoas dentro dos prédios, foi definido que as características a serem atingidas são: umidade relativa de 80% e a temperatura de 21 °C, 22 °C e 20 °C para hotel, shopping e hospital respectivamente, e a pressão será a mesma que a ambiente.

Com os parâmetros acima definidos, calcula-se a carga térmica associada às paredes e tetos do prédio em estudo através das trocas de calor, representada pela Eq. (1).

$$q = UA(CLTD) \quad (1)$$

Onde: U é coeficiente global de troca de calor [$W/m^2\text{°C}$]; A é a área da parede [m^2]; $CLTD$ é a diferença de temperatura para carga térmica [$^{\circ}\text{C}$].

A obtenção do coeficiente global de troca de calor foi feito através do método citado em Hernandez Neto (2011). Nele, a parede é representada por uma combinação de argamassa, tijolo, cimento e gesso, conforme Fig. (2).

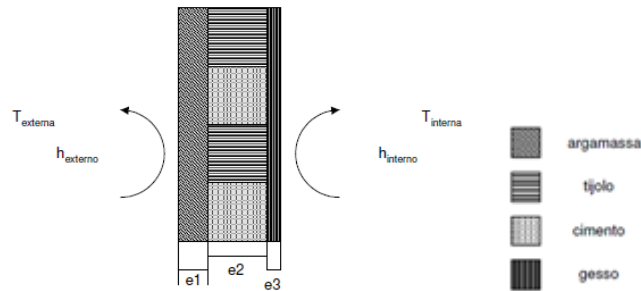


Figura 2. Representação dos materiais da parede.

O coeficiente global de troca de calor é calculado através do método de cálculo de resistência equivalente, conforme circuito apresentado na Fig. (3).

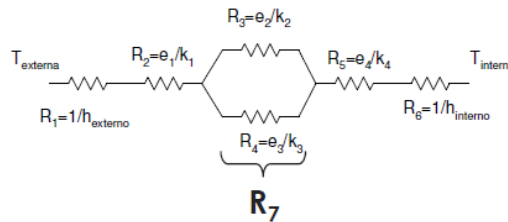


Figura 3. Circuito térmico da parede.

Calculada a resistência equivalente total, determina-se o coeficiente global de troca de calor através da Eq. (2).

$$U = \frac{1}{R_7} \quad (2)$$

A diferença de temperatura para carga térmica é calculada conforme a Eq. (3), adaptada de Haines e Wilson (1998).

$$CLTD = (CLTD_{tab} + LM)K + (25,5 - T_i) + (T_e - 29,4) \quad (3)$$

Em que: $CLTD_{tab}$ é um valor tabelado que varia com a posição geográfica e com a hora do dia; LM é uma correção devido à latitude (tabelado); K é um fator de correção devido à superfície da parede; T_i é a temperatura interna; T_e é a temperatura externa.

Calculada a carga térmica da parede do prédio, avalia-se então a carga térmica referente aos vidros. O método de cálculo é semelhante ao das paredes, porém deve ser acrescentada uma parcela relativa à radiação solar, Eq. (4).

$$q = UA(CLTD) + A(SC)(SHGF)(CLF) \quad (4)$$

Onde: *CLTD* é semelhante ao de parede, porém com tabelas próprias para vidros de diferentes espessuras; *SC* é o coeficiente de sombreamento; *SHGF* é o ganho de calor solar [W/m^2]; *CLF* é o fator para carga térmica.

Os três últimos parâmetros são tabelados e as tabelas foram consultadas em Haines e Wilson (1998).

Avaliada a interação que o prédio sofre com o ambiente, resta agora observar o impacto interno de geração de calor, como pessoas, iluminações e maquinários.

Para calcular a carga térmica associada a uma pessoa a ABNT (2008) tabela os valores de calor latente e sensível de uma pessoa. Dessa forma, utiliza-se as fórmulas apresentadas em Hernandez Neto (2011).

Ganho de calor sensível – Eq. (5).

$$q = N(SHG)(CLF) \quad (5)$$

Ganho de calor latente – Eq. (6)

$$q = N(LHG) \quad (6)$$

Onde: *N* é o número de pessoas; *SHG* é o calor sensível normalizado por pessoa; *CLF* é a inércia térmica por pessoa; *LHG* é o calor latente normalizado por pessoa.

O ganho causado pela iluminação do prédio é calculada conforme Eq. (7), segundo Hernandez Neto (2011).

$$q = WF_uF_a(CLF) \quad (7)$$

Onde: *W* é a potência instalada; *F_u* é um fator de uso; *F_a* é um fator de correção devido ao tipo de lâmpada; *CLF* é um fator tabelado relativo ao fator de resfriamento do ambiente onde a iluminação é utilizada.

6.2. Aquecimento de água

Tanto o hospital quanto o hotel utilizam parte da sua demanda de energia térmica para o aquecimento de água. Tal demanda de calor será acrescida na demanda térmica total do prédio. O aquecimento de água em hotéis destina-se basicamente a três tipos de usos: uso pessoal e banho, cozinha e lavanderia. Já em hotéis esse consumo é considerado por leito, independente do uso específico.

Cada um desses usos exige uma temperatura diferente de utilização segundo Bohn (2008):

- Hospitais e laboratórios: 100°C ou mais;
- Uso pessoal e banho: 35°C à 50°C;
- Cozinha: 60°C à 70°C;
- Lavanderia: 75°C à 85°C.

O fluxo de água necessário é definido através do número de hóspedes. Tal consumo é normalizado e encontra-se na Tab. (2).

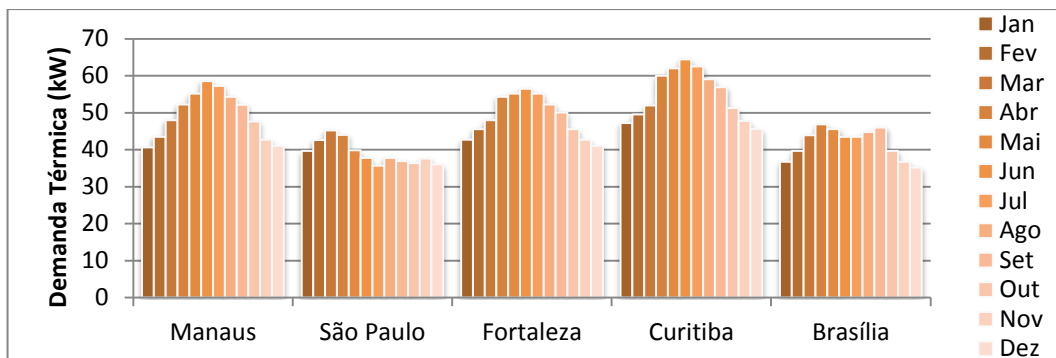
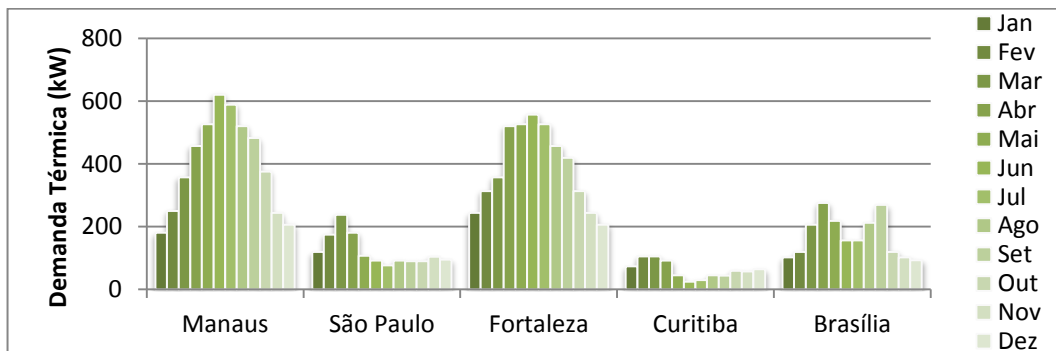
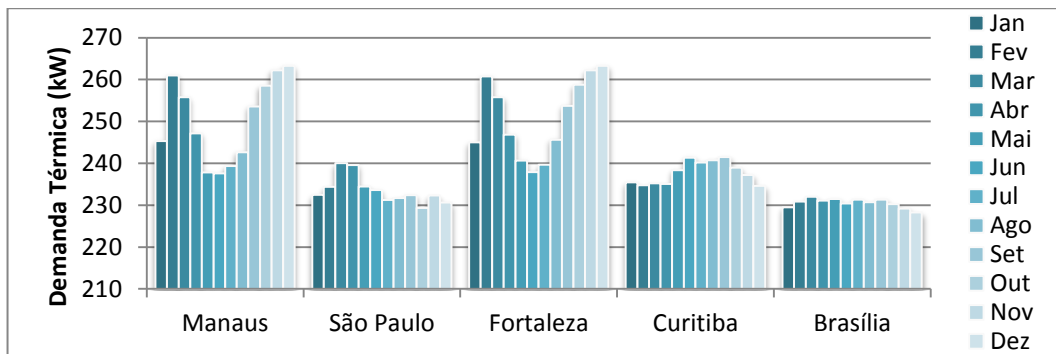
Tabela 2. Consumo de água quente pelo tipo de ocupação do prédio (retirada de Bohn (2008)).

Tipo de Ocupação	Consumo (litros/dia)
Hotel (sem incluir cozinha e lavanderia)	36 por hóspede
Hospital	125 por leito
Restaurante e similares	12 por refeição
Lavanderia	15 por kgf de roupa seca

Com as temperaturas de usos de água definidos, e o fluxo destinado à cada prédio, consegue-se aplicar a primeira lei da termodinâmica com o intuito de obter a demanda energética necessária. Para o cálculo das entalpias desses casos, foi utilizado o programa EES. Os resultados serão apresentados na seção 6.3.

6.3. Demanda Térmica Total

Somando os valores encontrados em cada uma das seções anteriores, obteve-se a demanda térmica total dos prédios, que estão representadas nas Fig. (3), Fig. (4) e Fig. (5).



7. Análise Preliminar

Após estabelecer as demandas térmicas e elétricas de cada edifício, e de posse dos sistemas possíveis e das características climáticas de cada região, escolheu-se três soluções possíveis de serem adotadas. O uso da cogeração com uma microturbina a gás e um *chiller* de absorção – Fig. (6), o uso de células fotovoltaicas para a produção de energia elétrica proveniente do sol – Fig. (7) e o uso de aerogeradores para a conversão de energia eólica em energia elétrica – Fig. (8).

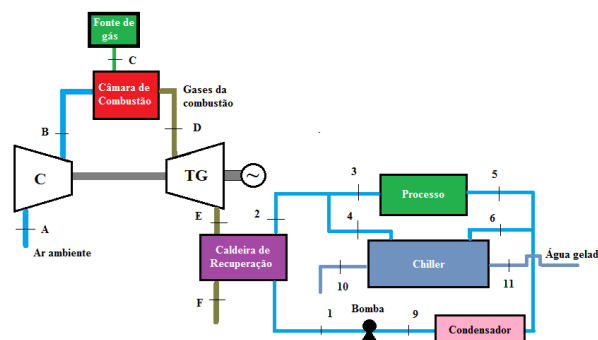


Figura 6. Representação do cicli de cogeração para os edifícios.

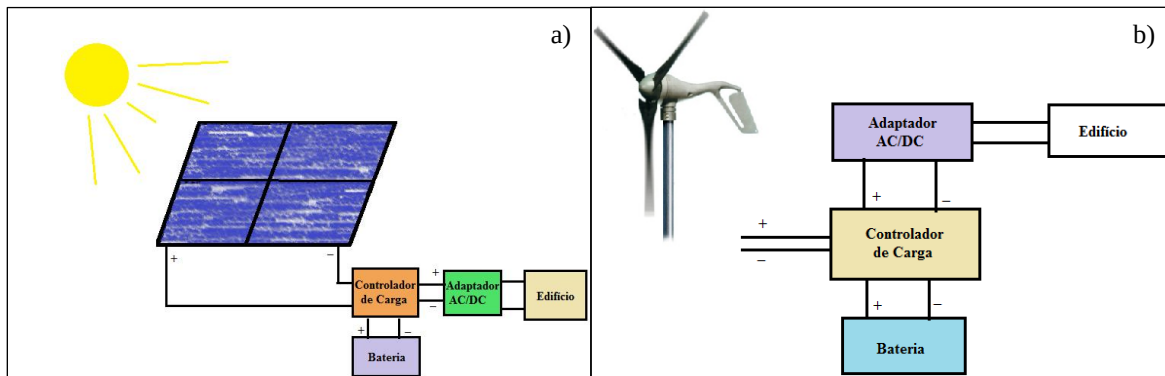


Figura 6. a) Esquema utilizado para fonte de energia solar. b) Esquema utilizado para fonte de energia eólica.

8. Viabilidade econômica

Existem importantes variáveis a se considerar na análise de um projeto energético: relação de demanda calor/eletricidade; regime operativo da central de geração energética; porte do empreendimento; custo da energia térmica; custo da energia elétrica; custo da tecnologia; desempenho da tecnologia; ponto de conexão à rede; importação/exportação de eletricidade; modo de contratação de compra/venda da eletricidade; disponibilidade de combustível; aspectos legais e regulatórios; impacto ambiental; qualidade da energia elétrica; confiabilidade dos sistemas utilizados.

A análise econômica foi realizada com base no fluxo de caixa do empreendimento. Tal fluxo de caixa apresenta um investimento inicial I , um custo de manutenção CM distribuído ao longo dos anos, o custo do insumo energético (combustível) CC também distribuído ao longo dos anos, um valor residual R ao fim da vida V da instalação.

Define-se então as técnicas de orçamento de capital utilizadas para avaliar e comparar a viabilidade dos sistemas estudados. As abordagens mais comuns envolvem a integração de procedimentos de valor de dinheiro no tempo, considerações quanto a risco e retorno e conceitos de avaliação para selecionar o melhor sistema capaz de suprir a demanda dos edifícios sem comprometer o capital investido pelo mesmo. O valor presente líquido considera explicitamente o valor do dinheiro no tempo inicial enquanto que a taxa interna de retorno consiste na taxa de desconto que faz com que o valor presente líquido de um investimento seja igual a zero. O VPL pode ser obtido através da Eq. (8) enquanto que a TIR pode ser obtida através da expressão da Eq. (9)

$$VPL = \sum_{j=1}^V \frac{CC+CM}{(1+i)^j} - I \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^V \frac{CE-CC-CM}{(1+TIR)^j} = I \quad (9)$$

8.1 Análise econômica das fontes de energia

Com os valores de carga térmica obtidos no item 6 é possível determinar o tipo de turbina e o tamanho do chiller a serem utilizados para o sistema de cogeração. Consultando Rolls-Royce (2011), GE (2011), Siemens (2011) e Capstone (2011) conclui-se que dentro da faixa de carga térmica necessária, a escolha mais apropriada são as micro-turbinas a gás para o sistema cogenerativo. Para o estudo realizado, foram utilizadas como base, as turbinas da Capstone, com potências que variam de 15kW até 600kW. Consultando Mecalor (2011), MaqTermo (2011) e Johnson Controls (2011) constatou-se quais *chillers* seriam necessários para cada instalação. O custo do gás natural varia de acordo com a região estudada e, além disso, sabe-se que existe diferença entre os preços do gás fornecido para utilização convencional e para processos cogenerativos.

O único fator presente na energia elétrica é o custo do MWh, visto que a utilização desta fonte não requer investimento nem manutenção. A tarifa cobrada para consumidores de alta tensão varia com o horário de ponta (horário onde o consumo de energia elétrica é maior no país) e com o período do ano. Portanto são aplicadas basicamente quatro tarifas – ponta seca, ponta úmida, fora de ponta seca e fora de ponta úmida. Para este estudo foi considerado uma média ponderada desses valores.

Segundo PUCRS (2011) o custo de manutenção atrelado à construção de um projeto eólico de pequeno porte pode ser considerado 5% do investimento inicial. E ainda é apresentado que a vida útil de turbinas eólicas pode ser considerada 15 anos, com eventuais trocas de peças. A princípio, foi considerado o caso hipotético de que toda a demanda energética fosse suprida por aerogeradores. Dessa forma, seria necessária a instalação de aproximadamente 300 aerogeradores no hospital, 700 no shopping e 50 no hotel, variando levemente de acordo com o regime de ventos de cada região. Definido o número de aerogeradores utilizados e a turbina apresentada em Energia Pura (2011), determina-se a potência instalada e o investimento feito.

Em FCUL (2010) é explicado que a manutenção de um sistema solar é somente devido à limpeza do ambiente em que ele se encontra e caso o sistema for autônomo com baterias, então, será exigida o monitoramento das baterias. Além disso, a vida útil pode ser considerada de cerca de 10 anos. De modo análogo à energia eólica, foi considerado o mesmo

caso hipotético de que toda a demanda energética fosse suprida por painéis fotovoltaicos. Dessa forma, seria necessária a instalação de aproximadamente 500 painéis no instalados no hospital, 1100 no shopping e 90 no hospital, variando levemente de acordo com a região, a partir daí, consultando Brasil Hobby (2011), é possível determinar a potência instalada e o investimento necessário para montar uma pequena central solar.

Com estas considerações é possível obter o VPL de cada instalação. Quanto ao TIR, foi adicionado ao fluxo de caixa de cada empreendimento (cogeração, solar e eólico) a parcela de valor economizado em energia da rede elétrica. A Tab. (3) mostra o VPL obtido para um projeto de cogeração enquanto que a Tab. (4) traz um comparativo para o mesmo período mantendo apenas um sistema convencional. Já a Tab. (5) e Tab. (6) trazem o TIR para os sistemas solar e eólico, respectivamente.

Tabela 3. VPL relativo à cogeração (milhões R\$) para um período de 20 anos.

	Curitiba	São Paulo	Fortaleza	Manaus
Hospital	5,458	2,849	6,436	6,896
Shopping	13,849	6,023	16,783	18,164
Hotel	1,243	0,965	1,346	1,395

Tabela 4. VPL relativo à energia elétrica (milhões R\$) para um período de 20 anos.

	Curitiba	São Paulo	Fortaleza	Brasília	Manaus
Hospital	10,568	7,843	10,494	9,770	9,669
Shopping	25,357	18,820	25,179	23,443	23,200
Hotel	1,996	1,481	1,982	1,845	1,826

Tabela 5. TIR para o caso solar em relação à energia elétrica.

	Curitiba	São Paulo	Fortaleza	Brasília	Manaus
Hospital	-7,93%	-8,20%	-7,01%	7,65%	-7,47%
Shopping	-9,03%	-9,80%	-7,70%	-4,70%	-7,73%
Hotel	-5,03%	-4,49%	-4,55%	2,76%	3,03%

Tabela 6. TIR para o caso eólico em relação à energia elétrica.

	Curitiba	São Paulo	Fortaleza	Brasília	Manaus
Hospital	-2,48%	-1,52%	-3,01%	2,39%	-2,52%
Shopping	-2,83%	-1,82%	-3,31%	-1,39%	-2,41%
Hotel	-1,58%	-0,83%	-1,95%	0,87%	0,89%

9. Conclusão

A partir dos valores encontrados de VPL e TIR, pode ser concluído que a utilização de gás natural através da cogeração é o sistema com o melhor resultado econômico dentre as opções estudadas. Em 20 anos, ela apresenta o valor presente líquido de cerca de R\$18mi no shopping, R\$7mi no hospital e R\$1mi no hotel (Tab. 3) enquanto que na elétrica fica entorno de R\$20mi, R\$10mi e R\$2mi respectivamente (Tab. 4). Como os valores da cogeração são menores o projeto do sistema apresenta um ganho em cima do capital investido. Além disso, o empreendimento ganha em termos de dependência energética, por depender somente da fonte de gás, que é menos requisitada que a elétrica, e ganha por ter um projeto sustentável também.

As outras fontes, solar e eólica, não apresentam resultados interessantes economicamente (Tab.5 e Tab. 6). Até que estas apresentem melhorias em sua tecnologia, deixando o investimento inicial menor e a eficiência na captação de energia maior estas não são recomendadas de um ponto de vista econômico. Contudo, se forem interessantes pelo aspecto da sustentabilidade, é recomendado que sejam utilizadas para uma parcela da demanda total do edifício, dessa forma as perdas são menores e ainda podem ser utilizados como diferencial para atrair mais clientes, como no caso do shopping e do hotel sustentáveis, este último tipo de ganho não foi analisado neste trabalho.

Como o objetivo deste trabalho é encontrar fontes alternativas de energia para evitar a dependência na rede elétrica, fica a critério do dono do projeto utilizar a opção com energia da rede e destinar pouca parte de sua energia às fontes alternativas. Para atender o objetivo deste trabalho chega-se a conclusão de que somente a utilização de um sistema cogeração é suficiente.

Contudo deve-se ressaltar que na região centro-oeste existe um fator que impede esta conclusão como nas demais regiões. Na cidade tomada como referência, Brasília, não existe rede de distribuição de gás natural o que dificulta sua utilização como combustível. Se utilizado de outra maneira que não seja pela rede, a confiabilidade no fornecimento da energia e o custo do projeto ficam comprometidos.

Outro combustível não poluente pode ser utilizado, mas esta análise fugiria ao escopo deste trabalho. Desta forma, para prédios localizados na região de Brasília, segundo a análise apresentada, seria interessante utilizar a combinação das fontes elétrica, eólica e solar.

10. Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

11. Referências

- (2008). *PROGRAMA DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA CICLO 2006/2007*. Sergipe: Energisa.
- ABNT. (2008, Agosto 04). NBR 16401-1. *Instalações de ar-condicionado - Sistemas centrais e unitários*. Brasil: Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- Aguilar, J. C. (2006). *PRÉ - DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO GRUPO HOSPITALAR CONCEIÇÃO*. Cepel - Empresa do Sistema Eletrobrás.
- Amorim, C. N. (2004). *Arquitetura não residencial em Brasília: Desempenho Energético e Ambiental*. São Paulo.
- Ana Paula Melo; Fernando Simon Westphal; Roberto Lamberts. (2005). *AVALIAÇÃO COMPUTACIONAL DE ESTRATÉGIAS PARA A REDUÇÃO DO CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA EM UM HOTEL DE FLORIANÓPOLIS*. Florianópolis.
- ANEEL. (2005). *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. Brasília: ANEEL.
- Aneel. (2011). *Agência Nacional de Energia Elétrica*. (Aneel) Retrieved 04 03, 2011, from Relatórios do Sistema de Apoio a Decisão: <http://www.aneel.gov.br/area.cfm?idArea=550>
- Bohn, A. R. (2008). *Instalação Predial de Água Quente*. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina.
- Brasil Hobby. (2011). *Micro Usina Solar MUS-1000W*. Retrieved 11 08, 2011, from Brasil Hobby: <http://www.brasilhobby.com.br/descricao.asp?CodProd=MUS1000W>
- Capstone. (2011, 10 12). *Products & Solutions*. Retrieved 11 27, 2011, from Turbine Corporation: <http://www.microturbine.com/prodsol/products/>
- Conselho de Consumidores da Coelce. (2000). *Uso eficiente de energia no hospital geral de Fortaleza*. Fortaleza: Coelce.
- Demajorovic, J. (2007). *AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO AMBIENTAL EM HOTÉIS: UMA PROPOSTA DE INDICADORES DE ECOEFICIÊNCIA*. Curitiba: Centro Universitário Senac.
- EMERSON LUBITZ; MARINA OTTE; NICOLAU CARDOSO NETO. (2006). *GESTÃO AMBIENTAL EM ORGANIZAÇÕES: ESTUDO DE CASO DO OSCAR HOTEL DE FLORIANÓPOLIS/SC*. Blumenau: FURB.
- Energia Pura. (2011). *Energia Eólica*. Retrieved 11 05, 2011, from Energia Solar Fotovoltaica e Eólica para Casas e Negócios: <https://www.energiapura.com/categoria/1>
- FCUL. (2010). *Laboratório de Aplicações Fotovoltaicas e Semicondutores*. Retrieved 11 08, 2011, from Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa: [http://solar.fc.ul.pt/faq.htm#E manutenção](http://solar.fc.ul.pt/faq.htm#E%20manuten%C3%A7%C3%A3o)
- Freire, R. L. (2008). *Análise de Viabilidade de Implantação de Fontes Alternativas de Energia no Hospital das Clínicas da UNICAMP*. Campinas: UNICAMP.
- GE. (2011). *Energy*. Retrieved 11 10, 2011, from GE Energy Overview: http://www.rolls-royce.com/energy/energy_products/
- Haines, R. H., & Wilson, C. L. (1998). *Hvac Systems Design Handbook*. EUA: McGraw-Hill.
- Hernandez Neto, A. (2011). PME 2515 - Ar condicionado e Ventilação. *Carga Térmica*. São Paulo, Brasil: USP.
- Johnson Controls. (2011, 10 30). *Produtos e Soluções*. Retrieved 11 26, 2011, from Johnson Controls: http://www.johnsoncontrols.com.br/publish/br/pt/products/building_efficiency/sistemas_hvac/chillers_-_condensacao/chiller_absorcao_.html
- Madeira, A. R. (1999). *Gestão do Consumo de Energia no Sector Turístico*. Funchal.
- MaqTermo. (2011, 11 02). *Produtos*. Retrieved 11 26, 2011, from MaqTermo: <http://www.maqtermo.com.br/index.php?destino=Chiller-Frio-Quente>
- Marcos Danella; Gilberto De Martino Jannuzzi. (2006). *Projeto de Eficiência Energética no Hospital de Clínicas da UNICAMP*. Belo Horizonte: Sendi.
- Mecacor. (2011, 11 05). *Produtos*. Retrieved 11 26, 2011, from Mecacor: http://www.mecacor.com.br/produtos/agua_gelada/chillers/unidade_agua_gelada/
- Ministério de Minas e Energia. (2011). *Balanco Energético Nacional*. Retrieved 02 18, 2011, from <https://ben.epe.gov.br/>
- Ministério de Minas e Energia. (2011). *Minas e Energia*. Retrieved 03 17, 2011, from Ministério de Minas e Energia: <http://www.mme.gov.br/mme>
- Paccin, A. (2002). *Iluminação Hospitalar*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- PROINFA. (2011). *Ministério de Minas e Energia*. (Governo Federal) Retrieved 03 30, 2011, from PROINFA: <http://www.mme.gov.br/mme>
- PUCRS. (2011). *CE-Eólica*. Retrieved 11 05, 2011, from Centro de Energia Eólica: <http://www.pucrs.br/ce-eolica/index.htm>

- Rolls-Royce. (2011). *Energy products*. Retrieved 11 10, 2011, from Energy products - Rolls-Royce: http://www.rolls-royce.com/energy/energy_products/
- Sá, A. L. (2011). *Energia Eólica e Expansão do Setor Elétrico Nacional*. Retrieved 02 19, 2011, from Aneel: http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/Audiencia_Publica/audiencia_proton/1999/ap002/artigo.rtf
- Siemens. (2011). *Energy*. Retrieved 11 10, 2011, from Siemens Global Website: <http://www.siemens.com/entry/cc/en/#188180-203900>

ANALYSIS OF ALTERNATIVE SOURCES OF ENERGY FOR THE TERTIARY SECTOR

Júlio Cesar Bimbato da Silva

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
juliobimbato@gmail.com

Leticia Natalia Kons

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
leticia.kons@gmail.com

Abstract. Many companies have been looking forward to diversify their energy source, since it has been discovered the importance of sustainable development – due the dependency of humanity in non renewable resources – besides, in Brazil, there is the threat of power outage, thanks to the country's development plus the upcoming events like the 2014 World Cup and the 2016 Olympics. For that, this work seek to evaluate, with the buildings function, – hospital, shopping or hotel – energy consumption data and location – North, Northeast, Midwest, Southeast and South – to offer the best way to distribute their energy source between the possible alternatives – solar, wind, gas, hydraulic and cogeneration. Therefore, a Brazilian regional climate study and an energy consumption study of these buildings were made. After, a economic feasibility study is made for the four possible scenarios between the energy sources. These scenarios are: a plant using only CHP, one using a combination of solar energy and the distribution electricity, another one using a combination of with wind energy and the distribution electricity and the last one a combination of solar and wind energies. For the economic analysis it was used net present value (NPV) and return on investment (ROI). It was clear that CHP plant was the one that obtained the best results and, therefore, the one that was indicated to all the buildings located in regions that have gas distribution made by the pipelines – ROI was between 7% and 17%. The second option was a combination of the solar or wind energy, with do not present return on investment.

Keywords: *sources; cogeneration; energy; economic.*