



AVALIAÇÃO BALANCEADA DE SISTEMAS ENERGÉTICOS: DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO DE INTEGRAÇÃO ENTRE USO E GERAÇÃO DE ENERGIA

Karin Regina de Castro Marins

Royal Institute of Technology – KTH, Estocolmo – Suécia, Rua Tucuna 63 apto 111 – São Paulo, SP,
Brasil – CEP 0501010, +55 11 38013327

e-mail: kmarins@bweb.com.br

RESUMO

O presente tema trata sistemas energéticos, edifícios e planejamento urbano através de uma abordagem integrada. O projeto incluiu o desenvolvimento de uma metodologia para avaliação balanceada de sistemas energéticos, considerando dois pilares principais: o “Uso” e a “Geração de Energia”. Gerenciamento de demanda de energia, custo e impacto ambiental são analisados tendo em vista definir um conjunto de soluções mais eficiente, com iniciativas de ambos os lados. No sistema de “Uso de Energia” foram incluídas estratégias para eficiência energética em edifícios residenciais e comerciais, a partir de soluções de desenho urbano, arquitetura e instalações prediais. Em “Geração de Energia”, sistemas centralizados urbanos e sistemas de geração distribuída foram incluídos. Eletricidade, aquecimento e resfriamento foram considerados, excetuando-se picos no consumo diário. O modelo envolve módulos de avaliação quantitativa e interfaces gráficas, dando suporte ao desenvolvimento de projetos e processos de decisão, demonstrando as vantagens da abordagem integrada. A pesquisa incluiu como estudo de caso um plano de desenvolvimento urbano para a cidade de Miyun, China, concebido como um modelo de desenvolvimento sustentável. Finalmente, o projeto pretende registrar, através de conceitos e simulações quantitativas, a importância de tratar adequadamente a presente questão, como uma abordagem mais madura em direção à sustentabilidade.

ABSTRACT

The present topic approaches energy systems, building and urban design in an integrated path. The objective of the project was to search for a methodology for balanced assessment of energy systems, considering two main pillars: Energy Usage and Energy Supply. Load management, cost, and environmental impact are analysed in order to identify a better overall performance, by the combination of initiatives in both sides. The scope of the research includes, in the energy usage side, design and management strategies for energy efficiency in residential and commercial buildings, and in urban planning as well. In the energy supply side, decentralised and centralised systems in neighbourhood and city scale are included. Electricity, space heating, and space cooling, in a base load regime, are considered. A quantitative assessment module and graphical interfaces were developed to support project development and decision-making, and demonstrate advantages of integrated approaches. A study-case was performed, corresponding to a master plan for urban development of the city of Miyun, in China, supposed to be a model of sustainable development. Finally, this project aimed to register, by conceptual and quantitative simulation analysis, the importance of handling properly such task, for the development of a more mature approach towards sustainability.

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho foi desenvolvido como uma dissertação para o Programa de Mestrado em Engenharia de Energia Sustentável (2003-2004), coordenado pelo Departamento de Energia do Instituto Real de Tecnologia

(KTH), Estocolmo, Suécia, com apoio da STINT – Fundação Sueca para Cooperação Internacional em Pesquisa e Educação Superior. A pesquisa foi desenvolvida para motivar e fornecer subsídios para uma abordagem mais integrada em sistemas energéticos, entendida como uma iniciativa na direção do desenvolvimento sustentável, de acordo com o Relatório *Brundtland* (WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT, 1987), considerando que conversão e uso de energia estão entre as atividades humanas mais agressivas ao meio ambiente e necessitam serem tratadas adequadamente. Busca-se, através desse trabalho, otimizar sistemas energéticos, ao mesmo tempo em que soluções de baixo impacto ambiental e custos globais mais reduzidos são incorporados, favorecendo soluções de longo prazo. A pesquisa abrangeu o desenvolvimento de um modelo, dedicado a orientar projeto e tomada de decisão, em consultorias, instituições de pesquisa e organismos governamentais, a considerar e avaliar um conjunto de aspectos, identificando as soluções mais interessantes e promissoras quando uma proposta completa está sendo avaliada.

2. METODOLOGIA

O trabalho foi organizado em três fases principais: formação de uma base de dados, desenvolvimento do modelo e verificação através de um estudo de caso. A primeira parte abrangeu a identificação e conexão de aspectos técnicos e não-técnicos relevantes para incorporação no modelo, tendo como fonte de dados uma grande quantidade de abordagens específicas e não inter-relacionadas, incluindo demanda de energia em edifícios, estratégias para eficiência em uso e geração de energia elétrica e térmica. Algumas referências utilizadas foram produzidas pela IEA (*International Energy Agency*), CADDET (*Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies*), BRE (*Building Research Establishment*, Inglaterra), DOE (*US Department of Energy*), Santamouris (SANTAMOURIS, 2001) e Baker (BAKER, 2000), entre outros. A segunda fase do trabalho, por sua vez, incluiu a otimização de dados e métodos, em módulos quantitativos e gráficos, de acordo com características do *Multicriteria Decision Making* (MCDM). Finalmente, a terceira fase correspondeu ao estudo de caso para Miyun, na China, desenvolvido como uma oportunidade de avaliar e aprimorar o modelo de avaliação, e ao mesmo tempo sugerir recomendações para este projeto específico.

3. MODELO PARA AVALIAÇÃO BALANCEADA DE SISTEMAS ENERGÉTICOS

3.1 Principais conceitos

A metodologia proposta foi desenvolvida para dar suporte à comparação e à integração de estratégias de eficiência em uso e geração de energia, buscando uma combinação geral ótima. Como conceito principal, “sistema energético” foi definido como uma combinação de recursos naturais, tecnologias, processos, comportamento e legislação. O Sistema Energético pode ser dividido em dois subsistemas interligados, “Uso de Energia” e “Geração de Energia”, conectados aos “Recursos Energéticos”, como é mostrado no esquema da Figura 1.



Figura 1: Representação do conceito de sistema energético considerado na pesquisa

O sistema de “Geração de Energia” é definido como um complexo de tecnologias e processos nos quais a energia é convertida e distribuída para utilização final, como as usinas de geração e a rede de distribuição de energia elétrica. O sistema de “Uso de Energia” é conceituado como um complexo de tecnologias e

processos nos quais a energia é diretamente usada, como os edifícios. A eficiência de ambos subsistemas pode ser otimizada por uma utilização adequada dos “recursos energéticos”, e por melhoramentos internos no desempenho de equipamentos e processos operacionais. A questão é quanto cada lado, “Geração” e “Uso de Energia”, devem ser otimizados para um contexto definido, buscando-se um sistema completo balanceado em termos de custos e impactos ambientais.

Essa abordagem integrada não é comumente empregada, e geralmente definições de sistemas energéticos abrangem somente geração de energia, a qual deve ser prevista para suprir uma demanda máxima de energia, sobretudo no ambiente construído. O Sistema de Uso de Energia é frequentemente referido internacionalmente como *Demand-Side Management* (DSM), ou seja, à parte do sistema energético, correspondendo à gestão das cargas energéticas em edifícios, incluindo fatores climáticos, desempenho de envelope e instalações prediais, comportamento de usuários etc.

3.2 Escopo

A avaliação balanceada proposta, em princípio, constitui uma metodologia genérica, que poderia ser aplicada a qualquer escala de sistemas energéticos, desde o edifício até unidades de vizinhança (distritos), cidade, região, país, e globalmente. Definiu-se, portanto, como relevante o foco no ambiente construído, adotando demandas e soluções para edifícios residenciais e comerciais, sistemas de geração de energia em escalas de edifício, vizinhança e cidade. Demandas energéticas de eletricidade e condicionamento ambiental (aquecimento e resfriamento) em carregamento de base em distribuição diária e anual foram consideradas.

A abordagem baseada em análise de ciclo de vida foi utilizada, focando-se na fase operacional das instalações, responsável por 85% de seu consumo energético total (ANDERSSON, 1996). Como principal indicador de impacto ambiental, emissões de CO₂ foram selecionadas, tendo em vista evidenciar as consequências de decisões projetuais, desencadeados pela utilização de combustíveis fósseis, para os processos de Mudanças Climáticas e consumo de recursos não-renováveis.

No sistema de “Uso de Energia”, estratégias para eficiência energética incluídas, em escala urbana, foram incluídas, abrangem soluções adequadas de *lay-out* e orientação geográfica, cânion urbano, superfícies e cores dos materiais externos e áreas verdes. Na escala do edifício foram incluídos: 1) Sistemas passivos de iluminação natural, aquecimento solar e controle de ganhos de calor; 2) Isolamento térmico, áreas envidraçadas de elevado desempenho, vedação e recuperação de calor em sistemas de ventilação; 3) Painéis móveis de isolamento (*movable insulation*), persianas internas em vidro duplo; 4) Otimização de iluminação natural; 5) Ventilação natural para trocas de ar e resfriamento; 7) Sistemas de iluminação artificial; 8) Equipamentos elétricos; 9) Instalações prediais; 10) Sistemas de gestão em edifícios (*Building Management Systems* – BMS).

O sistema de “Geração de Energia” inclui algumas tecnologias para conversão energética independente de eletricidade, aquecimento e resfriamento, e outras para cogeração (*Combined heat and power* – CHP), produção de calor e resfriamento (*Heat and cooling* - CHC) e cogeração associada a um sistema de resfriamento do tipo absorção de calor (*Combined heat, power and cooling* - CHPC). No primeiro grupo, encontram-se os sistemas fotovoltaicos, solares térmicos e energias eólica, hidrelétrica e geotérmica. Do segundo grupo fazem parte bombas de calor, usinas termelétricas, células a combustível e *chillers* baseados em processos de absorção. Sistemas distritais para fornecimento de aquecimento e refrigeração foram também incluídos. Aspectos técnicos referentes a ambos os sistemas de uso e geração foram pesquisados tendo em vista quantificar e otimizar o desempenho das diversas estratégias e sistemas mencionados acima, de acordo com disponibilidade de recursos, princípios termodinâmicos, limitações de projeto de edifícios ou instalações. Além disso, referências internacionais de custo para ambos os sistemas e emissões de CO₂ foram também identificadas para os vários sistemas de geração.

3.3 Estrutura

A estrutura proposta e os processos de quantificação, comparação, análise e visualização correspondem ao corpo principal da pesquisa. O modelo de avaliação balanceada foi organizado em três fases sequenciais principais: 1) Análise quantitativa dos aspectos técnicos; 2) Visualização das recomendações dos estudos quantitativos; 3) Integração das recomendações técnicas com os elementos contextuais.

3.3.1 Módulo de avaliação quantitativa

O módulo de avaliação quantitativa é baseado em uma estrutura desenvolvida para organizar as estratégias de “Uso” e “Geração de Energia”, incluindo o conteúdo técnico contido no escopo.

Esta fase é composta por três partes principais: entrada de dados, processamento e saída de resultados, conforme é apresentado na Figura 2. Na primeira parte, características e demandas relevantes de projeto são incluídas na estrutura proposta, para que na segunda parte, possibilidades de redução de consumo energético e de suprimento da demanda remanescente sejam calculadas. Para cada melhoria no subsistema de “Uso de Energia”, o custo marginal para melhoria das instalações pertinentes é adicionado ao custo do sistema de geração remanescente, formando um custo final para o sistema completo. Ao mesmo tempo, as melhorias no uso de energia contribuem para diminuir a produção total de CO₂, se um sistema de geração baseado em combustíveis fósseis está sendo considerado. O custo total e as emissões de dióxido de carbono resultantes são as referências finais do estudo quantitativo, utilizadas para então identificar o nível ótimo de melhorias no sistema de “Uso de Energia”, para um sistema de geração em questão. A avaliação quantitativa é realizada através de um sistema de planilhas Microsoft Excel, desenvolvidas especificamente para a metodologia proposta, e exemplificadas na Figura 2.

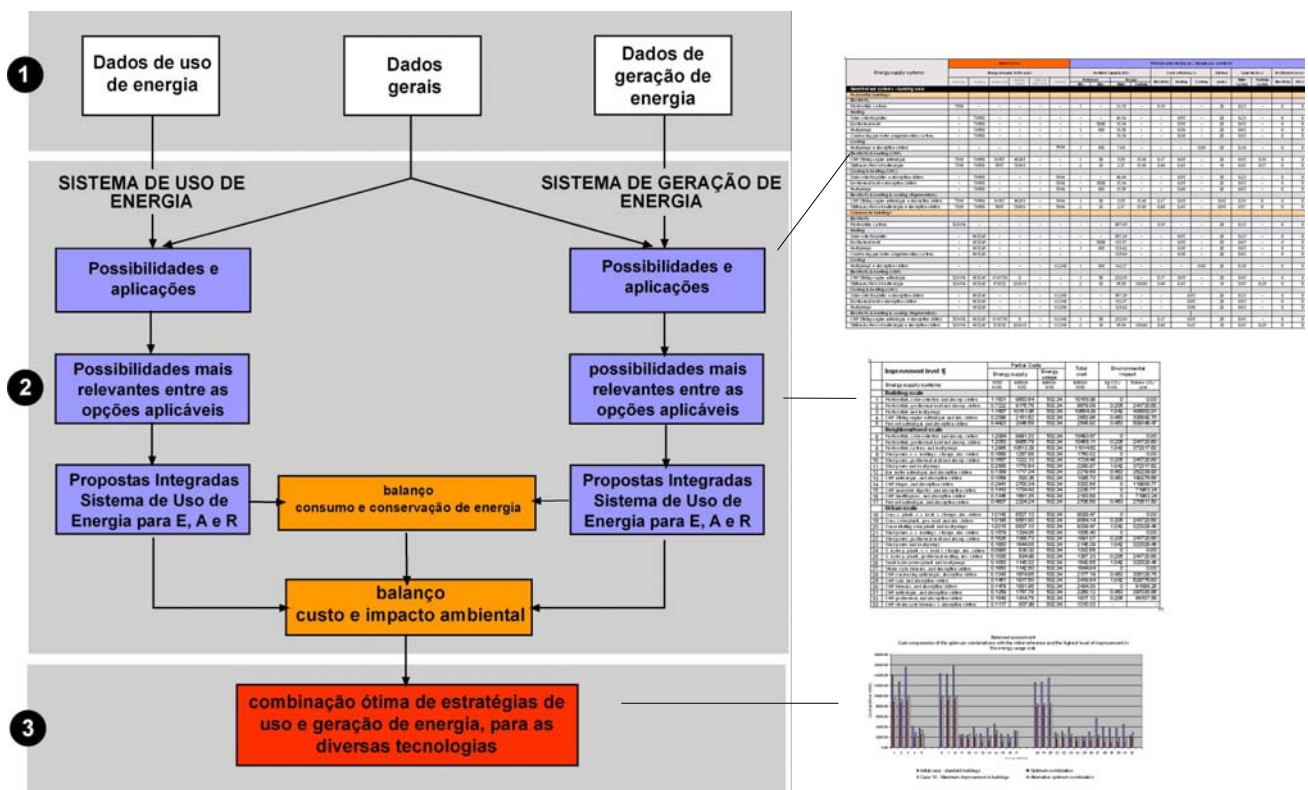


Figura 2: Modelo de avaliação balanceada – módulo de análise quantitativa

3.3.2 Visualização da avaliação balanceada

A segunda fase do método proposto incluiu o desenvolvimento de uma interface capaz de mostrar as estratégias contidas em cada proposta, assim como a ótima combinação entre uso e geração de energia, tendo por base uma referência inicial.

Para representar o grupo de iniciativas contidas em cada proposta, um esquema de diagramas foi adotado. Composto por três colunas principais, relacionando Demandas de energia, alternativas para os sistemas de “Uso” e “Geração de Energia”, os quais são interligados e identificados com cores diferentes representando as diversas propostas para um referido caso. Este esquema pode ser considerado como um indicador visual qualitativo do desenvolvimento de cada proposta.

Um dos aspectos mais relevantes, no entanto, foi identificar uma interface ou sinal gráfico capaz de sintetizar os resultados relevantes da avaliação quantitativa de uma forma integrada. Mais do que isso, a forma gráfica final deveria indicar uma tendência, traduzindo um certo nível de desempenho ou um ponto de equilíbrio, mesmo quando diferentes projetos são simulados, como uma ferramenta de classificação (*benchmarking*).

O gráfico radar foi considerado a forma de representação mais pertinente de acordo com os critérios mencionados, indicando visivelmente concentrações de desempenhos e aspectos positivos e negativos, como os exemplos na Figura 3 mostram. Existe uma divisão básica esquerda (Uso de Energia) e direita (Geração de Energia). Existe também uma reunião de resultados relacionados a aspectos técnicos – redução no consumo energético, demanda energética remanescente e emissões totais de carbono no hemisfério norte, e resultados relacionados a aspectos de custo concentrados no hemisfério sul, como custos de redução do consumo, de geração do remanescente e custo total do sistema energético.

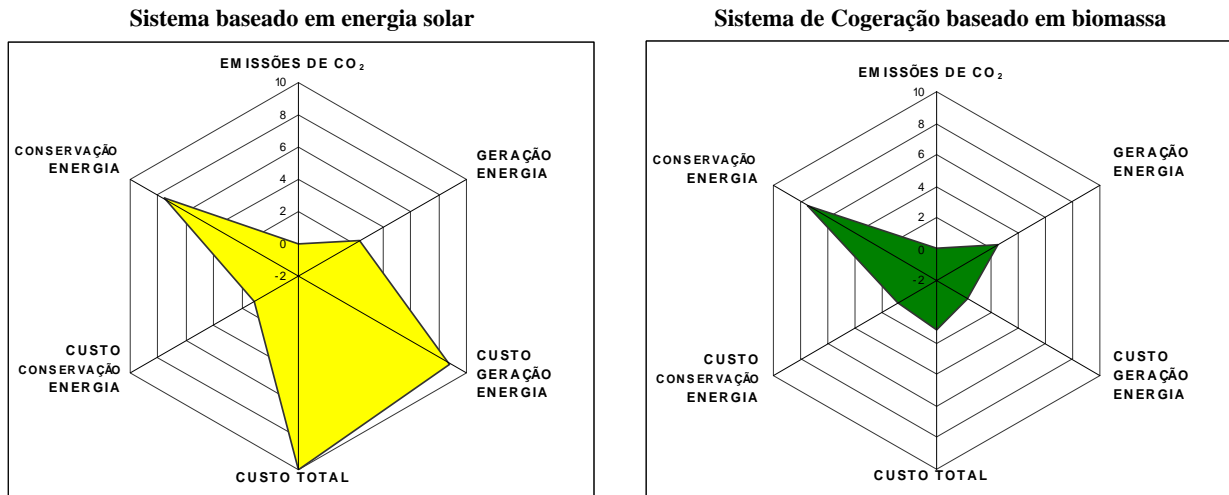


Figura 3: Visualização dos resultados: o gráfico radar

Essa organização propicia análises controladas envolvendo variáveis com características opostas. Uma escala foi desenvolvida para uniformizar as diferentes variáveis incluídas. O gráfico radar possibilita a inclusão de diferentes curvas representando diferentes tipos de integração entre os sistemas de “Uso” e “Geração de Energia”, demonstrando graficamente as soluções mais promissoras de acordo com os critérios apontados nos diversos eixos. Os gráficos tipo radar combinados com os diagramas compõem a interface completa de visualização dos resultados da avaliação quantitativa, conforme é ilustrado na Figura 4.

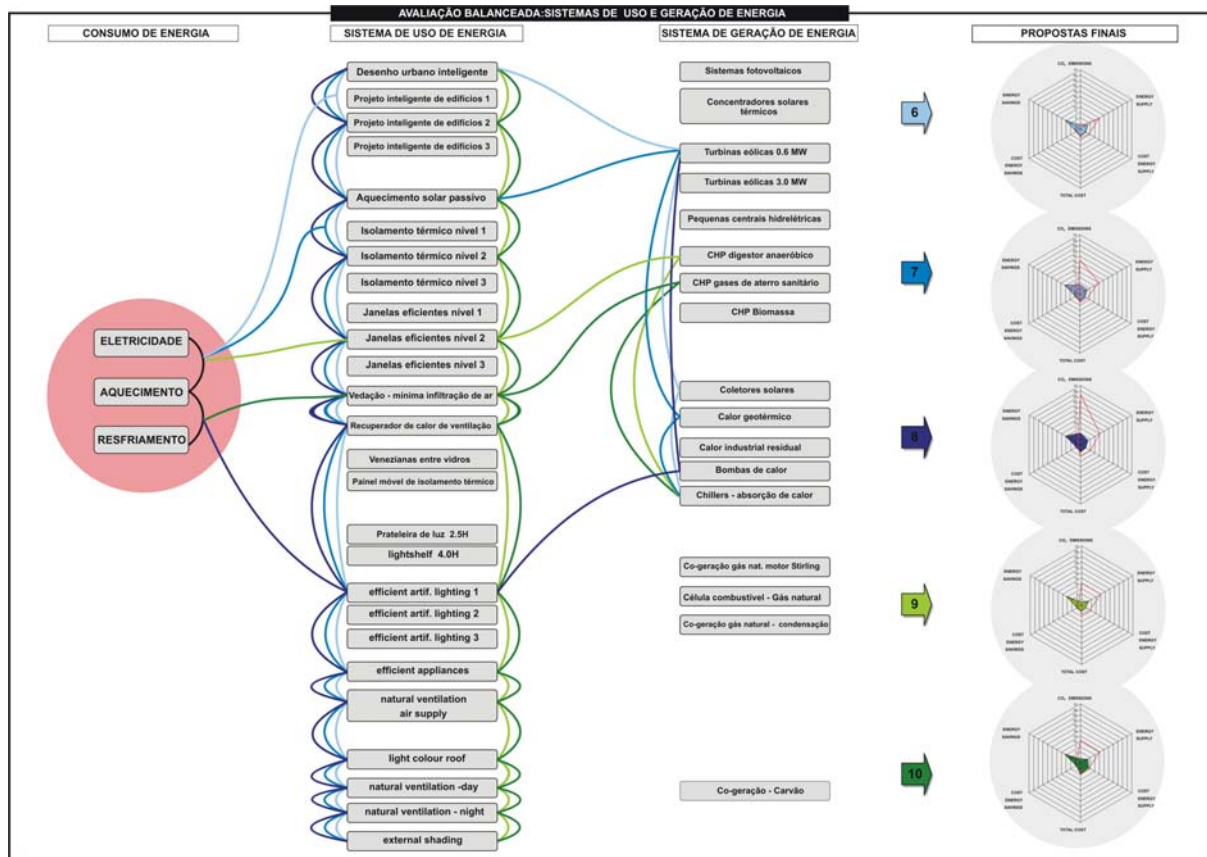


Figura 4: Esquema proposto para visualização dos resultados da avaliação quantitativa

3.3.3 Análise das propostas

Na fase de avaliação das propostas, os resultados dos estudos quantitativos são comparados com diferentes possíveis cenários. Com critério para definição dos contextos, foram selecionados aspectos que poderiam limitar o desempenho de cada um dos resultados – eficiência, custo e impacto ambiental. A qualificação de tais aspectos, por sua vez, deveria ser baseada em características de cada caso, e contar também com a participação dos diversos interessados, como clientes e investidores. Tais aspectos foram também organizados em gráficos radares, em posição relativa ao elemento que controlam no gráfico radar de resultados, como demonstra a Figura 5.

Como aspectos relevantes selecionados para compor os cenários abrangem estilo de vida com relação a atitudes para promoção de eficiência energética, metas de redução de emissões de CO₂, disponibilidade de recursos energéticos, investimentos em economia de energia, em geração de energia e investimento total disponível. Esses fatores por si só constituem um vasto campo de pesquisa, que extrapolam para a economia e gestão privadas e públicas, e ciências sociais e políticas. No entanto, considerou-se necessário definir um método para inclusão e análise de tais questões, a fim de completar o processo de avaliação balanceada de sistemas energéticos, com a abordagem integrada proposta.

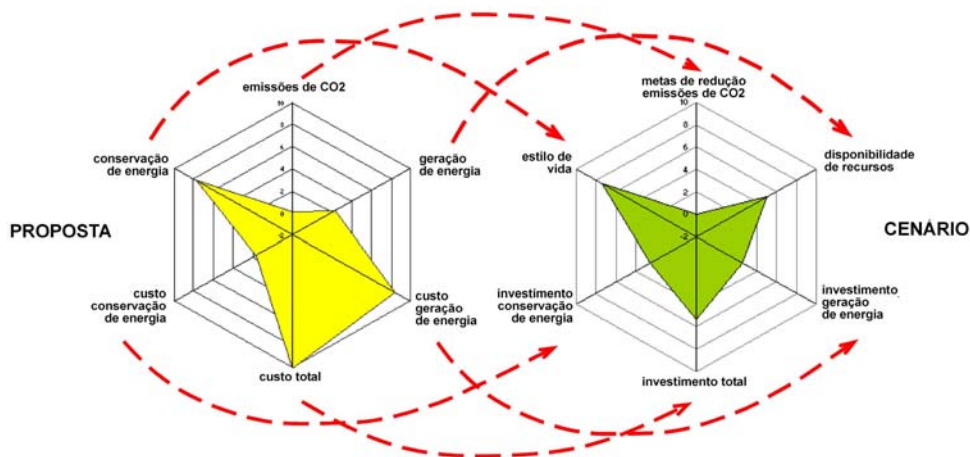


Figura 5: Correlação de variáveis – Resultados da avaliação quantitativa e cenários

Finalmente, a compatibilização de resultados e cenários em processos de decisão é visualizada em uma matriz final, que permite comparação e negociação para seleção da solução ótima em cada caso, como a Figura 6 exemplifica. Se o nível desejado de integração entre a proposta e o contexto não for alcançado, novas simulações podem ser feitas, incorporando as limitações identificadas. Este processo é repetido até que um ponto de equilíbrio seja identificado e aprovado, e então diretrizes específicas são encaminhadas para as diversas áreas técnicas e não-técnicas envolvidas, de acordo com uma proposta geral de desempenho ótimo.

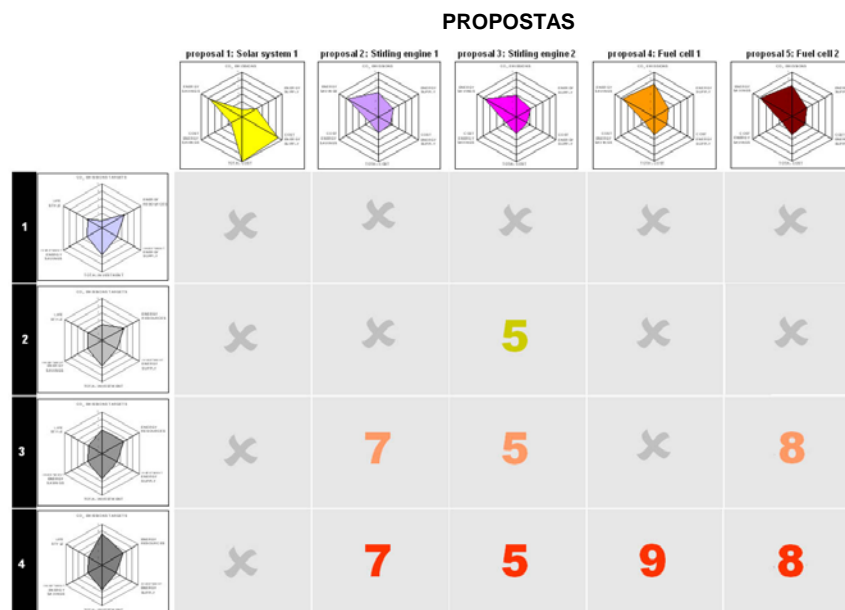


Figura 6: Esquema para orientação e discussão nos momentos de decisão

4. ESTUDO DE CASO: PLANO DE EXPANSÃO URBANA PARA MIYUN, CHINA

A China é um país que, recentemente, vem buscando enfrentar o desafio de basear seu rápido desenvolvimento econômico em bases sustentáveis. Ao mesmo tempo em que os sistemas energéticos tradicionais baseados em combustíveis fósseis e processos poluentes ainda permanecem entre os mais representativos em âmbito mundial (IEA, 2000), o governo chinês está consciente sobre a necessidade de diversificar a matriz energética nacional, bem como adotar sistemas energéticos mais eficientes e ambientalmente adequados. Nesse sentido, a avaliação balanceada de sistemas energéticos aplicados ao contexto da China parece extremamente válida, considerando que ambos sub-sistemas – “Uso” e “Geração de Energia” –, necessitam de melhorias e investimentos. O mercado de energia para aquecimento está sendo reestruturado e existe uma tendência por iniciativas que primem pela eficiência energética, bem como tecnologias e recursos energéticos limpos. Este estudo de caso é baseado em uma intervenção real planejada para a região de Miyun, localizada ao norte de Beijing, a qual, segundo o governo chinês, deveria ser planejada para ser um protótipo de desenvolvimento sustentável naquele país. Esse fato abre possibilidades para soluções inovadoras e criativas, em planejamento urbano e infra-estrutura de energia, água e resíduos sólidos, constituindo um caso atraente e pertinente para o teste do modelo proposto.

4.1 Referências do projeto

Miyun localiza-se 100 km ao norte de Beijing, na região climatologicamente definida como “Muito Fria” e o plano de desenvolvimento urbano previsto deve atender 160.000 novos habitantes. Trata-se de um plano completo de intervenção, incluindo desenho urbano e infra-estrutura e edifícios, e aproximadamente 7,1 milhões de metros quadrados de área construída, conforme a Beijing Rising Century Real State Co. Ltd. e William McDonough (WILLIAM MCDONOUGH AND PARTNERS, 2004), responsáveis, respectivamente, pela gestão e desenvolvimento dos projetos.

Informações sobre edifícios residenciais e comerciais, condições climáticas e padrões construtivos locais foram utilizados para calcular o consumo de energia para edifícios isolados, unidades de vizinhança e para a área urbana inteira, para condições de verão e inverno. Como consumo de eletricidade foi adotada a média de 34/135 kWh/m² ano, enquanto que os consumos de aquecimento e resfriamento corresponderam a 311/272 kWh/m² ano e 29/46 kWh/m² ano, respectivamente para edifícios residenciais e comerciais.

4.2 Resultados

4.2.1 Estudo de caso - Miyun: avaliação quantitativa

Simulações foram executadas incluindo diferentes estratégias para melhoria da eficiência energética em edifícios, compondo propostas com dez diferentes níveis de eficiência no sistema de “Uso de Energia”, acompanhados pelo relativo custo marginal inerente à melhoria, conforme demonstra os gráficos na Figura 7. Através das simulações, foi possível verificar o grande potencial de redução do consumo de energia por soluções projetuais relacionados à orientação e à geometria dos edifícios, para maximização de iluminação natural, aquecimento solar passivo e ventilação natural. Coberturas com cores externas claras também contribuem significativamente reduzir a necessidade de resfriamento. Finalmente, melhorias no desempenho térmico do envelope das edificações, envolvendo isolamento térmico, qualidade construtiva de vedação e das superfícies envidraçadas, correspondem às soluções de maior eficiência para redução da demanda de aquecimento. Distribuindo-se o custo marginal de tais aprimoramentos em um ciclo de vida de 20 anos, verificou-se que isso equivaleria a, aproximadamente, 0,027 USD pagos por cada kWh economizado, para edifícios comerciais, por exemplo, 70 % do preço da eletricidade fornecida através de concessionárias de energia em países com energia mais barata (EIA, 2003) em média 0,08 USD por kWh, ou 80% inferior quando comparado aos 0,13 USD por kWh de eletricidade fornecido, no caso da média do valor cobrado pelas concessionárias na China, (DOE, 2004).

As iniciativas para melhoria do desempenho energético nos edifícios foram então integradas com alternativas de geração de energia, para resolver a demanda energética remanescente. Várias estratégias foram consideradas, incluindo sistemas baseados em recursos renováveis e de emissão zero, como sistemas fotovoltaicos, solares térmicos, de energia eólica, usinas térmicas a cogeração e uso de biomassa e biogases, e alguns sistemas de baixo impacto ambiental, como usinas térmicas e célula combustível baseadas em gás natural e energia geotérmica. Sistemas na escala do edifício (sistemas distribuídos) e nas escalas de vizinhança e cidade (sistemas centralizados) foram incluídos.

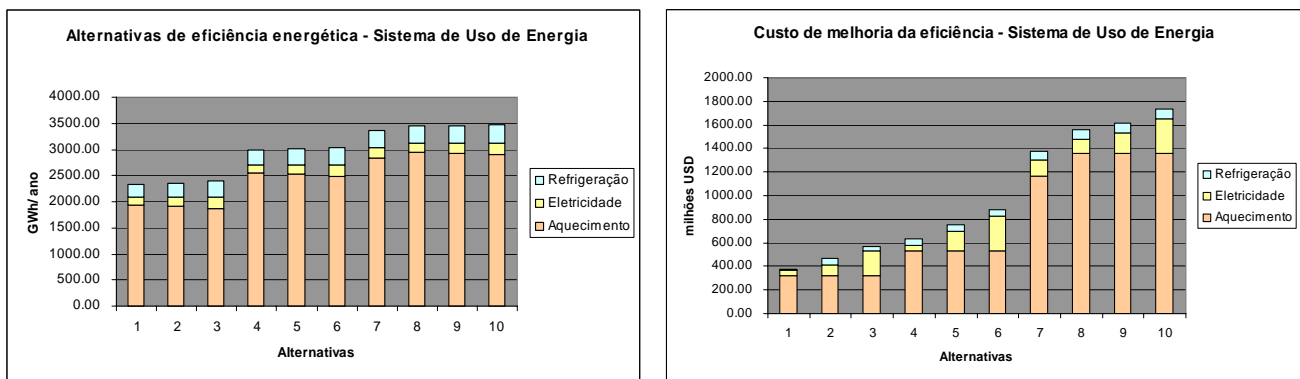


Figura 7: Estudo de caso: Miyun– Melhorias de eficiência no sistema de “Uso de Energia”

Trinta e três sistemas de geração foram selecionados, e para cada um deles foi identificado através das planilhas de quantificação, qual o nível de eficiência em edifícios apresentaria os menores custos totais e menor taxa de emissões de CO₂ do sistema resultante. Dois níveis de melhoria se destacaram como ótimos dependendo do sistema de geração considerado:

- O Nível “4” foi considerado o mais recomendado para a maioria dos sistemas, excetuando-se basicamente os sistemas solares. As estratégias incluídas neste nível abrangem soluções de orientação, geometria comprimento/largura 2:1, desempenho térmico intermediário para o envelope das edificações, aquecimento solar passivo, coberturas com cores externas claras, ventilação natural, protetores solares externos e equipamentos elétricos e de iluminação artificial eficientes.
- O Nível “6” foi selecionado para os sistemas solares exclusivos, baseado em tecnologias fotovoltaica e térmica, e também para os processos térmicos de custo mais elevado, referentes aos sistemas de cogeração baseados em célula combustível e motores “Stirling” movidos a gás natural, com taxas de emissão de CO₂ mais baixas. As iniciativas contidas neste nível são basicamente as mesmas do nível “4”, com a adição das prateleiras de luz de elevado desempenho para edifícios comerciais, e lâmpadas ainda mais eficientes para o setor residencial. Ambas as medidas contribuem para reduzir o consumo de eletricidade, a capacidade instalada dos sistemas de geração e, dessa forma, o custo total.

Finalmente, comparando os diferentes sistemas energéticos resultantes, foi possível verificar que a solução com custo mais reduzido para Miyun ainda corresponde ao sistema térmico cogeração baseado em carvão. No entanto, a diferença de custo deste sistema para processos de cogeração utilizando biomassa ou gases de digestores anaeróbicos ou de aterros sanitários, ou mesmo hidrelétricas, representaria um acréscimo de apenas 3 a 10%, com zero de emissões de CO₂ associadas.

4.2.2 Estudo de caso - Miyun: visualização da avaliação balanceada

Os resultados do estudo quantitativo foram registrados de acordo com o sistema de escalas proposto para os gráficos radares, e combinados com os diagramas, para facilitar visualização e análise em processo de decisão.

Focando nos gráficos radares, é possível verificar que os “sistemas verdes”, ou sistemas “não poluentes” apresentam uma determinada forma gráfica que tende a ser mais estreita no eixo vertical superior (emissões) e mais alongada na direção do eixo indicativo de economia de energia. Isso pode ser visualizado nas representações dos sistemas baseados em energia solar, eólica, hidrelétrica biomassa e biogases. Em contraste, alternativas que estão associadas a uma certa quantidade de emissões de CO₂ tendem a ter uma forma quadrada na direção do eixo vertical, além de uma área mais representativa no gráfico. Essas propostas abrangem os sistemas que utilizam carvão e gás natural. Existem formas intermediárias entre esses dois casos, representadas pela combinação de sistemas limpos para geração de energia elétrica e sistemas baseados em energia geotérmica ou bombas de calor (*heat pumps*), para suprir demanda de aquecimento. Uma forma especial se refere ao caso dos “sistemas solares”, representados pela tecnologia fotovoltaica na escala do edifício e concentradores parabólicos combinados com coletores solares e *chillers* de absorção, em escala urbana. Essa forma indica que, mesmo com iniciativas para redução do consumo de energia (eixo *energy savings*), as tecnologias de geração de energia ainda apresentam custo muito elevado quando comparado com as demais propostas. As diferenças mencionadas podem ser visualizadas nos gráficos constantes da Figura 8.

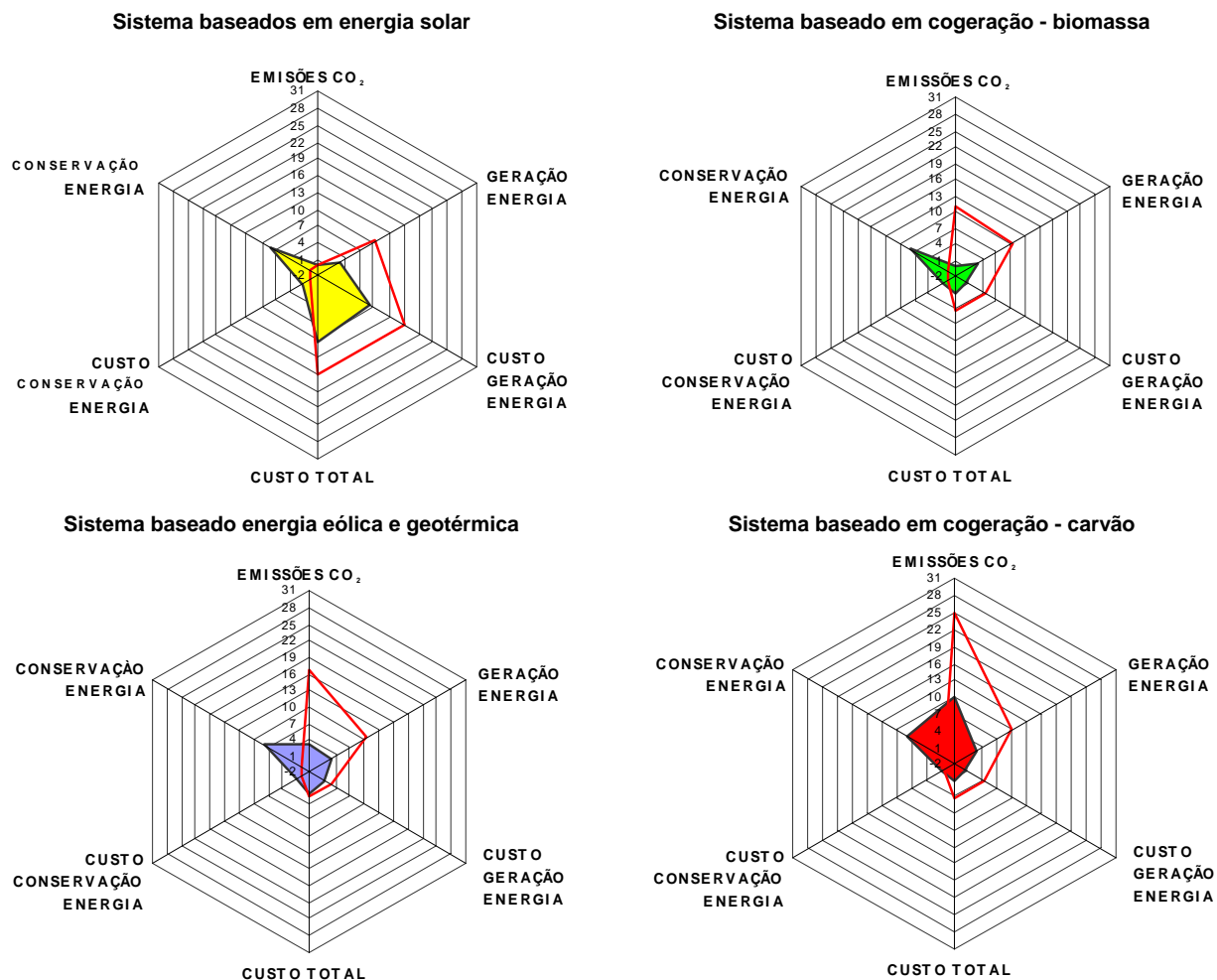


Figura 8: Visualização de resultados – Miyun: análise dos gráficos radares

Além disso, foi observado que as combinações ótimas apresentam uma predominância de iniciativas para redução do consumo (*energy savings*) em relação àquelas para geração de energia (*energy supply*), o que é mostrado pelo eixo esquerdo superior nos gráficos radares apresentados. Além disso, os gráficos radares dos processos térmicos utilizando biomassa, hidrelétricos ou eólicos apresentam uma condição mais desenvolvida quando comparadas com os sistemas estritamente solares, devido ao elevado custo desses últimos.

Considerando os aspectos mencionados, foi possível concluir que possivelmente um gráfico radar de referência para soluções ótimas teria pequena área (quanto menor, melhor), com uma curta distância no eixo vertical (emissões de CO₂ – custo total), e uma divisão similar dos investimentos entre os sistemas de “Uso” e “Geração de Energia”. Custos reduzidos e baixo ou nenhum impacto ambiental formariam uma situação ideal para metas econômicas e ambientais, ao mesmo tempo em que uma distribuição uniforme de investimentos entre “Uso” e “Geração de Energia” seria favorável para envolver investidores de ambos os segmentos e estimular desenvolvimento de mercado. Os eixos de redução no consumo energético e geração de energia apenas forneceriam uma indicação se existe uma predominância de iniciativas entre os lados. Finalmente, é importante ressaltar que o polígono definido por linha simples sem preenchimento, presente nos gráficos da Figura 8, registra o desempenho do sistema energético resultante no caso de não ser incluída nenhuma melhoria de eficiência em edifícios, evidenciando os benefícios da escolha das propostas ótimas.

4.2.3 Estudo de caso – Miyun: Análise de propostas

Para realizar a análise dos resultados da avaliação qualitativa a luz dos cenários definidos para Miyun, foram assumidas algumas características locais relacionadas a estilo de vida, disponibilidade de recursos, metas de redução de emissões de carbono e tendências de mercado. Foi considerado que, em geral, existe um baixo nível de comprometimento com iniciativas para eficiência energética devido às tradições locais, recursos

energéticos suficiente e um equilíbrio de mercado quanto a interesses de investimento em iniciativas de “Uso” e “Geração de Energia”.

Considerando elevadas metas ambientais, como é esperado para a intervenção em Miyun, a proposta baseada em sistema de cogeração utilizando biomassa foi selecionada como a mais apropriada, devido à possibilidade de implementar um sistema totalmente limpo em uma condição competitiva. Outras possibilidades referem-se às propostas incluindo sistemas hidrelétricos ou eólicos combinados com energia solar térmica, no entanto essas propostas necessitam de condições locais mais específicas.

Seguindo esses e alguns outros critérios, todas as propostas foram classificadas e inseridas em um esquema geral, para facilitar sua visualização. Esse esquema, portanto, seria definido com a participação dos envolvidos nos processos de decisão, facilitando a negociação e a definição da solução mais apropriada.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do modelo demonstrou que, mesmo adotando métodos simplificados para estimar a eficiência, custo e impacto ambiental de sistemas energéticos, as inter-relações entre os vários sistemas disponíveis para “Uso” e “Geração de Energia” são bastante complexas, requerendo procedimentos sistematizados para consideração na prática. Nesse sentido, acredita-se que o modelo proposto pode ser de grande ajuda.

Os resultados da avaliação balanceada para Miyun demonstraram a importância das iniciativas no sistema de “Uso de Energia”. Para todos os casos analisados, apenas com um nível de melhoria na eficiência dos edifícios, custo e emissões decresceram significativamente. Mais do que isso, verificou-se que existe um ponto intermediário ótimo entre “Uso” e “Geração”, sugerindo que eficiências muito maiores e custos e impactos ambientais muito mais baixos são atingidos quando um plano integrado é desenvolvido, definindo diretrizes para ambos os lados.

A presente versão constitui apenas uma primeira aproximação no esforço de estabelecer instrumentos para avaliação balanceada de sistemas energéticos. A proposta pretende motivar a definição de métodos e referências para análise e padronização de soluções mais complexas e integradas, disponibilizando indicadores para auxílio na definição de níveis adequados de performance, com os menores custos e impactos ambientais.

REFERÊNCIAS

- ANDERSSON H. and SETTERWAL Å. (1996) “The Energy Book”. The Swedish Council for Building Research, Stockholm, Sweden.
- BAKER N., STEEMERS K. (2000) “Energy and Environment in Architecture: A technical design guide”. E & FN Spon. London and New York. UK and USA.
- IEA (2000) “World Energy Outlook 2000”. Louis Jean. Paris. France.
- EIA (2003) “Electricity prices”. EIA/ DOE Energy Information Administration, US Department of Energy, disponível em www.eia.doe.gov/emeu/international/elecprih.html, última modificação 08.08.2003, acessado em 24.08.2004.
- DOE (2004) “Concentrating Solar Power, Solar Energy Technologies Program”. US Department of Energy, disponível em <http://www.eere.energy.gov/solar/csp.html>, acessado em 17.08.2004.
- SANTAMOURIS, M. et al (2001), “Energy and climate in the built environment”. James & James. London. UK.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT (1987) “Our common future” [Brundtland Report]. Oxford University Press. Oxford. England.
- WILLIAM MCDONOUGH + PARTNERS and WSP ENVIRONMENTAL (2004) “Beijing Miyun New Town Sustainable Development Project – Concept Master Plan”. New York. USA.