

## Planejamento energético em ambientes extremos: uma experiência Antártica

Tiago Malavazi de Christo

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Elétrica, Vitória, Espírito Santo, Brazil

[tmalavazi@ifes.edu.br](mailto:tmalavazi@ifes.edu.br)

Jussara Farias Fardin

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Elétrica, Vitória, Espírito Santo, Brazil

[jussara.fardin@ufes.br](mailto:jussara.fardin@ufes.br)

Domingos Sávio Lyrio Simonetti

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Elétrica, Vitória, Espírito Santo, Brazil

[d.simonetti@ele.ufes.br](mailto:d.simonetti@ele.ufes.br)

Cristina Engel Alvarez

Universidade Federal do Espírito Santo, Centro de Artes, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Vitória, Espírito Santo, Brazil

[cristina.engel@ufes.br](mailto:cristina.engel@ufes.br)

**ABSTRACT:** The article presents criteria for planning and projects of renewable energies in extreme environments. The research was based on scientific expeditions to Antarctica, on a bibliographical review on energy production in extreme environments and in particular on reviewing studies related to Comandante Ferraz Antarctic Station (EACF, portuguese acronym). Authors investigated which are the essential studies involved on energy planning in extreme environments, considering aspects related to security, reliability, logistical constraints, complexity of installation and maintenance, efficiency and effectiveness, with the objective of minimizing environmental impacts. As a result, a selection of studies and fundamental criteria was obtained, organized with the intention to enable safe and efficient design of renewable energy systems in extreme conditions.

**Keywords:** Renewable energy, extreme environment, planning

**RESUMO:** O artigo apresenta critérios para planejamento e projetos de integração de fontes renováveis de energia em ambientes extremos. A pesquisa foi realizada com base em expedições científicas a Antártica, em revisões bibliográficas sobre produção de energia em ambientes extremos e em trabalhos relacionados à Estação Antártica Comandante Ferraz (EACF) realizados pelos autores. Foram identificados e organizados os estudos fundamentais para o planejamento energético em ambientes extremos contemplando aspectos relacionados à segurança, confiabilidade, logística, complexidade de instalação e manutenção, eficiência e eficácia. Como resultado obteve-se uma seleção dos estudos e dos critérios fundamentais para execução de projetos de energias renováveis em ambientes extremos.

**Palavras-chave:** energia renovável, ambientes externos, planejamento

### 1 INTRODUÇÃO

Um dos elementos mais preocupantes quando se busca a redução do impacto ambiental ocasionado pela presença humana em ambientes extremos consiste no uso de combustíveis fósseis para produção de energia. A dificuldade de logística, os riscos de vazamentos e em especial a emissão de poluentes tornam o uso de combustíveis fósseis uma opção indesejável.

Em ambientes extremos, como a Antártica, a dependência exclusiva de uma única fonte energética e o uso desregrado dos recursos pode levar a uma perigosa condição para a sobrevivência. A escassez de energia para obtenção de água, para proteção contra os rigores climáticos e para a telecomunicação, são exemplos de situações que podem ser fatais em ambientes hostis.

Nesse panorama, a integração de fontes renováveis às matrizes energéticas de edificações isoladas e a implementação de sistemas de gerenciamento inteligente têm se mostrado como uma solução de sucesso tanto do ponto de vista ambiental quanto de segurança (Tin et al. 2010, Bekle et al. 2012, Smith et al. 2013).

Estações Antárticas de países como Bélgica, Austrália, Estados Unidos e Nova Zelândia são casos exemplares de edificações em ambientes extremos, funcionando com fontes renováveis integradas a uma matriz energética baseada em óleo diesel (Christo 2012). Dentre estas, a estação belga Princess Elisabeth se destaca por utilizar os geradores a Diesel apenas para emergência, por adotar um elaborado sistema de tratamento de resíduos com biorreatores que permitem a reciclagem da água, uso de técnicas de aquecimento passivo e ativo, além da adoção de um avançado sistema hierárquico de gerenciamento de energia, capaz de processar mais de 35.000 variáveis (Rattinghe 2008).

Contudo, a influência do clima e as particularidades logísticas encontradas nesses ambientes exige que o projeto do sistema de geração de energia pondere critérios de segurança e exequibilidade em conjunto aos tradicionais indicadores financeiros de economia ou de custo da solução. Em ambientes extremos as restrições logísticas são maiores, o tempo disponível para manutenções e a condição climática são sempre críticas, a composição do solo é diferenciada, as temperaturas são extremas, além da ocorrência de rajadas de ventos e tempestades. Nessas situações a dimensão dos equipamentos, a quantidade de peças, a complexidade de montagem e manutenção, ou a adoção de técnicas e tecnologias, são questões que devem ser criteriosamente analisadas. A inobservância dessas questões pode levar a soluções não exequíveis por restrições climáticas, logísticas, de legislação ambiental, de tempo e de recursos disponíveis para instalação e manutenção, por falta de confiabilidade e ou de segurança (Tin et al. 2010, Christo 2012).

Nesse sentido, o referencial teórico para o planejamento energético das novas edificações da Estação Antártica Brasileira Comandante Ferraz - EACF se embasou em estudos de diagnóstico, conservação de energia, uso de energias renováveis, reaproveitamento de calor e de gestão de energia, aliados a peculiaridades dos ambientes extremos.

Este artigo apresenta os resultados da pesquisa que objetivou propor um método de desenvolvimento de projeto baseado nos estudos que subsidiaram os critérios para novas edificações da EACF, as quais têm início de construção previsto para ocorrer em 2015 (CIRM 2014).

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

A pesquisa foi realizada por meio de expedições científicas a Antártica, revisões bibliográficas em periódicos e portais dos Programas Antárticos e na execução de estudos para integração de fontes renováveis na Estação Antártica Brasileira. O método proposto para o planejamento de sistemas de geração de energia renováveis em ambientes extremos, foi obtido pela investigação de estudos de viabilidade realizados em ambientes extremos.

Foram pesquisadas literaturas sobre produção de energia em ambientes extremos (Tin et al. 2010), produção de energia em climas frios (Smith et al. 2013), e portais de fundações e programas Antárticos como International Polar Foundation (PolarFoudation 2009), Science Poles (SciencePoles 2010), Australian Antarctic Division (AAD 2011) e Princess Elisabeth Station (PEA 2009).

Foram investigados os estudos de viabilidade técnica e econômica de sistemas eólico e solar para a Estação Antártica da África do Sul (Teetz et al. 2003) (Oliviera et al. 2008), o projeto de um sistema híbrido para uma edificação remota na Etiópia (Bekele & Boneya 2012), um estudo de integração fontes renováveis na Estação Franco Italiana (Boccaletti et al. 2014), e a documentação de desenho, simulação e otimização dos sistemas da Estação Princess Elisabeth (Rattinghe 2008).

Por fim os estudos de diagnóstico energético, levantamento de potencial e projeto de uma matriz híbrida para a EACF (Christo 2012) e o termo de referência para a reconstrução da EACF (IAB 2013), ambos executados com a participação dos autores, foram revisados de forma a se obter um método generalizado que possa ser aplicado ao projeto de sistemas de geração de energia nos mais diversos ambientes.

### 3 RESULTADOS

O planejamento e projeto de matrizes energéticas em ambientes extremos deve se apoiar em três estudos fundamentais. O levantamento das restrições logísticas e ambientais, o diagnóstico energético da edificação, e a estimação dos potenciais energéticos locais. Esses primeiros estudos permitem a construção da base de dados que apoiará todo o planejamento e projeto da matriz. Na fase de planejamento e projeto são analisados juntamente as demandas e os potenciais energéticos, e consideradas as restrições identificadas. São definidas possíveis topologias de matrizes, realizada a análise de viabilidade técnica e por fim a escolha da solução ótima. A solução ótima é eleita considerando a ponderação de fatores de segurança, confiabilidade, impacto sobre o ambiente, desempenho, complexidade e custo.

A Figura 1 ilustra a organização dos estudos de planejamento e projeto da solução energética conforme descrito. Na primeira fase o estudo trata das limitações logísticas, do diagnóstico energético e a caracterização dos recursos energéticos disponíveis no local. A segunda fase trata da definição do planejamento e projeto da matriz.

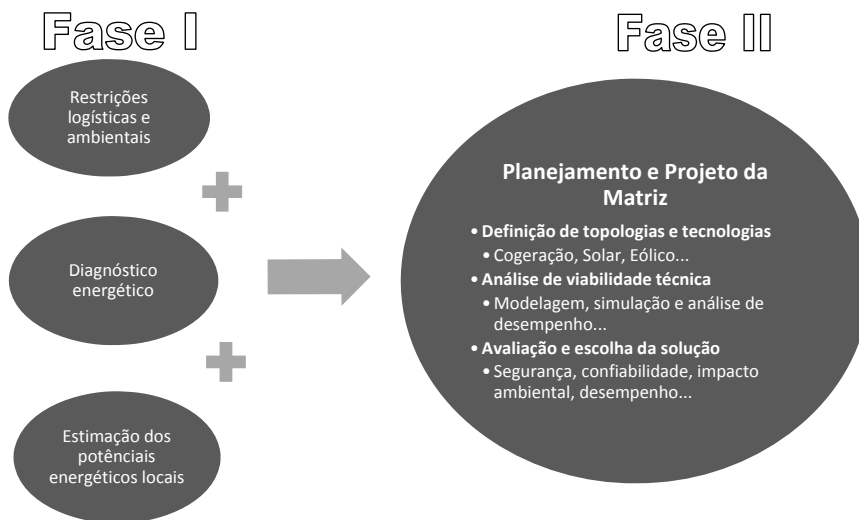


Figura 1. Organização dos estudos para planejamento e projeto do sistema de geração de energia com fontes renováveis.

#### 3.1 Fase I: Construção da base de dados

Na fase de construção da base de dados são levantados todos os dados fundamentais para o correto projeto da matriz. Os estudos de restrições logísticas e ambientais, diagnóstico energético e estimação de potenciais podem ser realizados em ordens diferentes da apresentada aqui.

### 3.1.1 Restrições logísticas e ambientais

Esta etapa visa identificar condições específicas que poderiam inviabilizar o projeto, dessa forma devem ser observadas as características climáticas da região, o tipo de solo, a fauna e flora local, o período de acessibilidade, o maquinário e o recurso humano necessário, as capacidades dos meios de transportes disponíveis, e as áreas disponíveis para movimentação, armazenamento e acampamento. Os trabalhos devem ser planejados de forma a garantir que as atividades de logística e de instalação evitem impactos ambientais, devendo ser estabelecidos mecanismos eficientes que garantam o controle e a mitigação de possíveis impactos gerados (IAB 2013).

O respeito à documentação ambiental da região estudada é imprescindível. No caso da Antártica, faz-se necessário que sejam atendidos os acordos relacionados ao Sistema do Tratado da Antártica, assim como as recomendações, medidas, decisões e resoluções resultantes das Reuniões Consultivas do Tratado da Antártica. Dentre os acordos relacionados deve-se ter atenção especial ao Protocolo de Proteção Ambiental para o Tratado da Antártica, denominado Protocolo de Madri (ATS 2014).

### 3.1.2 Diagnóstico energético da edificação

O diagnóstico energético da edificação e a previsão das necessidades de energia elétrica e térmica podem ser considerados, na maioria dos casos, como o ponto de partida para o planejamento de um sistema de geração de energia. A identificação do que se deseja da edificação em termos de infraestrutura, facilidades, eficiência energética e autonomia, juntamente com o conhecimento das possibilidades e restrições técnicas, permitem o entendimento da dimensão e complexidade que o projeto terá.

Na etapa de diagnóstico energético é analisado o sistema elétrico e térmico partindo-se dos pontos de geração aos circuitos terminais de forma a levantar-se o perfil de cargas, o consumo por tipos de cargas, estado de carregamento dos circuitos e qualidade de energia (Christo 2012). Para isso, são analisadas as fontes térmicas (ex.: caldeiras, sistema de cogeração e coletores solares), fontes as elétricas (ex.: geradores e planta renovável), tubulações, cabeamentos, cargas térmicas (ex.: aquecedores, torneiras e duchas) e cargas elétricas (ex.: compressores, iluminação, computadores).

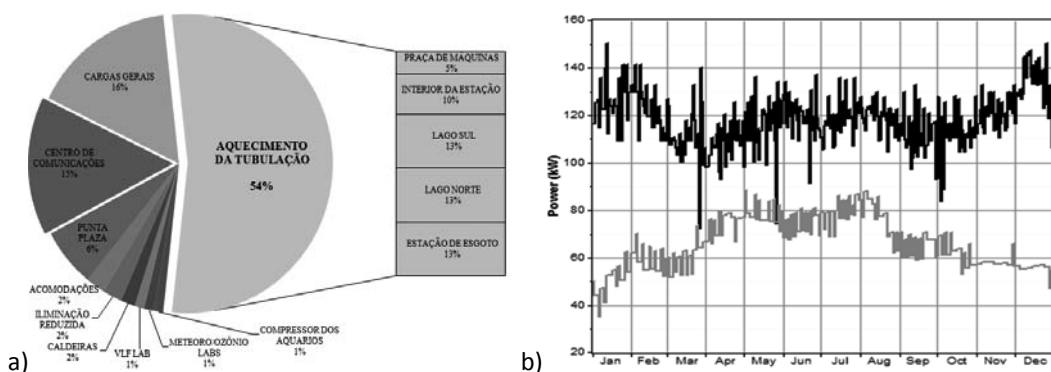


Figura 2. a) Perfil de consumo elétrico por uso final. b) Demanda elétrica (linha preta) e térmica (linha cinza) ao longo do ano de 2011 na EACF (Christo 2012).

A Figura 2 apresenta um exemplo do perfil de consumo elétrico por uso final e curva de demanda energética anual obtida através do diagnóstico energético nas edificações da EACF (Christo 2012).

O diagnóstico energético permitirá o conhecimento de como e onde a energia elétrica e térmica são ou serão consumidas, obtendo-se assim o perfil de consumo de energia da edificação, o qual será necessário para o dimensionamento otimizado do sistema de energia renovável. O

planejamento de possíveis ações de efficientização e de gestão ótima da energia também se apoia nos dados obtidos (Rattinghe 2008).

### **3.1.3 Estimação dos potenciais energéticos locais**

Esta etapa consiste em um estudo quantitativo e qualitativo com o objetivo de se obter a caracterização dos recursos energéticos locais como eólico, solar, recuperação de calor e de aproveitamento de resíduos orgânicos. Considerando outras situações remotas como, por exemplo, as ilhas oceânicas, deve ser observada a eventual possibilidade de uso de energias do mar, assim como em áreas de florestas densas, a possível utilização da biomassa.

#### **3.1.3.1 Estimação do recurso eólico**

Para a caracterização confiável do recurso eólico devem ser avaliados os dados com registros contínuos superior a três anos, devido à variabilidade que ocorre de ano a ano. Recomenda-se que registros sejam com resolução de 1 Hz e tempo de integração de 10 minutos, em acordo com resoluções internacionais (IEA 1999, MEASNET 2009). Em ambientes extremos, é comum o aproveitamento de base de dados já existentes, as quais podem não apresentar exatamente a resolução recomendada. O registro dos dados de velocidade, direção, temperatura, pressão, umidade, rugosidade do terreno e ocorrência de rajadas, permitirá a completa caracterização do recurso. Caso não existam dados de temperatura, pressão e umidade, a densidade do ar poderá ser calculada considerando valores médios da região.

Para a caracterização e do recurso eólico da região e estimação do potencial aproveitável recomendam-se os seguintes estudos (Christo 2012, IAB 2013):

- análise da variabilidade ano a ano e a sazonalidade das médias dos ventos;
- estimação e classificação do potencial eólico bruto;
- análise da distribuição de frequência das velocidades dos ventos (distribuição de Weibull);
- estimação do potencial eólico aproveitável para modelos comerciais de aerogeradores; e
- elaboração da rosa dos ventos de densidade de potência;

Os parâmetros da distribuição de Weibull representam a distribuição de velocidades dos ventos e permitem que o recurso eólico de uma região seja facilmente avaliado ou comparado com o de outras regiões através de softwares de simulação computacional (Patel 1999, Smith et al. 2013). Já a rosa dos ventos auxilia no posicionamento ótimo das turbinas.

#### **3.1.3.2 Estimação do recurso solar**

A energia solar deve ser avaliada para produção de eletricidade, aquecimento e iluminação da edificação. O aquecimento pode ser obtido tanto de forma passiva, pela utilização de janelas criteriosamente dimensionadas e posicionadas de forma a possibilitarem a entrada da radiação no interior dos ambientes, quanto de forma ativa pelo uso de coletores solares para aquecimento (Rattinghe 2008, IAB 2013).

Além do posicionamento solar, faz-se necessário considerar as influências da temperatura, da refletividade do solo (albedo) e de possíveis intempéries. Em climas frios, as temperaturas mais baixas elevam a potência que pode ser entregue pelas células fotovoltaicas, enquanto a neve pode elevar a refletividade do solo (albedo) a valores acima de 70% (T. Muneer 2004, Laine 2007).

Em ambientes extremos, condições climáticas desfavoráveis como fortes ventos, deposição de neve ou impurezas, elevam os riscos de inoperância dos painéis fotovoltaicos e devem ser investigadas. Em situações de elevado albedo, a instalação dos painéis em inclinação de 90°, apresenta-se como uma alternativa interessante. Nesses casos a fixação dos painéis pode ser feita em superfícies externas das construções, direcionadas para o polo geográfico oposto.

Para a estimacão do potencial solar recomendam-se os seguintes estudos (Christo 2012, IAB 2013):

- identificaco de possíveis sombreamentos por edificaes, vegetaco e geografia do local;
- estimacão do potencial solar para modelos comerciais de painéis, considerando a temperatura as diferentes técnicas de posicionamento; e
- análise da influência do albedo no posicionamento ótimo e na produo anual de energia;

### 3.1.3.3 Estimacão do potencial de uso da cogerao

A cogerao ocorre pela produo combinada de duas formas de energia simultaneamente através de diversas tecnologias de conversão. Um exemplo  a produo de eletricidade e calor em motogeradores. O uso da cogerao permite o aumento da eficiência global do sistema e, dessa forma, colabora para a reduo do nível emissão de poluentes por unidade de energia produzida (Lora & Nascimento 2004).

Em motogeradores, tecnologia que  largamente utilizada como fonte de gerao primária e de segurança em edificaes isoladas, o calor dos gases de exaustão pode ser aproveitado através de uma caldeira de recuperao, sendo permitido o resfriamento até temperaturas mínimas de aproximadamente 120°C, a depender da tecnologia e do combustível utilizado. O calor proveniente do circuito de refrigerao do bloco do motor pode ser recuperado em uma temperatura de 80°C a 90°C; já o calor do circuito do óleo lubrificante poderá ser recuperado a um nível de temperatura de 60°C a 70°C (Lora & Nascimento 2004).

A estimacão do potencial de calor útil pode se basear tanto nas medidas de consumo de combustível quanto na de gerao de eletricidade, considerando-se para conversão suas relaes com calor útil produzido. Essas relaes podem ser obtidas pela curva de eficiência e diagrama de *Sankey* do motogerador (Christo 2012).

### 3.1.3.4 Resíduos orgânicos

Os resíduos orgânicos, dependendo de suas características, podem ser incinerados ou processados em um sistema de digestão anaeróbia a qual consiste em um processo de conversão de matéria orgânica em condies de ausência de oxignio, em produtos finais gasosos: o metano e o gás carbnico. Nos biodigestores os resíduos sólidos orgânicos e os efluentes do sistema de esgoto podem ser utilizados juntos para se obter o contudo de sólidos desejável, sendo possível ainda a reciclagem de gua (Reichert 2006, Rattinhe 2008).

Recomenda-se que a estimacão do potencial de utilizao dos resíduos sólidos siga as etapas de (Woelffel 2007, Reichert 2006, Christo 2012):

- pesagem e classificao da produo de resíduos sólidos;
- estimacão de potencial energético considerando a tecnologia a ser adotada; e
- análise da exequibilidade em funo da temperatura e possível escassez de gua.

Embora a quantidade de resíduos gerados em estaes isoladas, em média 640 kg/mês na EACF segundo Woelffel et al. (2007), induzam ao descarte desse processo para a produo de energia elétrica, principalmente pela relao custo x benefício,  importante considerar a possível contribuio ambiental agregada a tal iniciativa (Christo 2012).

## 3.2 Fase II: Planejamento e projeto da matriz energética

O planejamento e projeto da matriz energética consiste na definio de topologias viáveis, avaliao e escolha da soluço ótima. Para isso, toda a base de dados construída  utilizada nas análises.  recomendável que esses procedimentos sejam realizados em softwares específicos para análise de sistemas de energia renováveis. Uma ampla lista de softwares para esse fim  disponibilizada pelo setor de Eficiência Energética e Energias Renováveis do Departamento de Energias dos Estados Unidos (EERE 2014).

Uma vez escolhida a solução ótima, é essencial seja estudado um sistema que faça o gerenciamento otimizado da geração e consumo de energia visando alcançar uma maior eficiência, confiabilidade e segurança (Rattinghe 2008, Christo 2012). Esse sistema de gestão inteligente da rede, conhecido como *smart grid*, permite que a geração e consumo de energia seja programado para obter a máxima eficiência e autonomia em função das diferentes necessidades e restrições detectadas, mesmo sobre condições adversas de clima e de funcionamento da planta.

### **3.2.1 Definição das topologias e tecnologia dos equipamentos**

Nessa etapa são analisados juntamente os potenciais energéticos estimados, as demandas elétrica e térmica conhecidas, e a área total disponível e/ou necessária para instalação. É também realizada a seleção de equipamentos adequados às condições de temperatura, umidade, pressão, composição do solo e rajadas de vento.

Para isso, deve ser analisado o funcionamento individual e em conjunto de tecnologias de produção combinada de eletricidade e calor, aerogeradores, painéis fotovoltaicos, coletores solares, sistemas de aproveitamento de resíduos, e tecnologias emergentes. Em todos os casos, é essencial que a tecnologia adotada seja segura e confiável mesmo em condições climáticas adversas ou que levem a inoperância de partes do sistema de geração. Os sistemas, em especial os externos, devem exigir manutenções simples e rápidas de forma que possam ser executadas em curtos intervalos (Rattinghe 2008, Tin et al. 2010, Christo 2012, IAB 2013).

Em ambientes extremos, pode ser necessário o uso de equipamentos de maior grau de robustez, com possíveis modificações em formas e materiais. Pode ocorrer a eventual necessidade de modificações de aços em torres ou componentes estruturais, uso de lubrificantes especiais, isolamento extra, modificação para suportar ventos fortes e ainda pontos extras de estaqueamentos devido às características do terreno (Rattinghe 2008, Tin et al. 2010, Christo 2012, IAB 2013).

A escolha dos painéis solares e turbinas eólicas deve considerar os fatores de capacidade alcançados para o perfil do recurso renovável da região de estudo. Um mesmo sistema de geração apresentará um desempenho melhor ou pior em função do perfil do recurso renovável e das particularidades de cada região.

Para a especificação e posicionamento dos painéis solares e aerogeradores deverão ser considerados também os aspectos referentes às limitações impostas pela composição do terreno e sua topografia, relação entre área necessária para instalação por energia gerada, adequação ao perfil do recurso renovável, espaçamento necessário entre aerogeradores e entre os painéis solares, análise de sombreamentos pelo relevo e estruturas do entorno, e o respeito às áreas de trânsito e de preservação (IAB 2013).

Segundo Manwell et al. (2002, pp. 384-389), o espaçamento dos aerogeradores situa-se entre 5 a 9 vezes o diâmetro de rotor na direção de ventos dominantes, e de 3 a 5 vezes na direção perpendicular aos mesmos, dessa forma, deve-se avaliar a disponibilidade de área livre necessária para a instalação dos aerogeradores.

Por segurança, recomenda-se que o sistema de geração de energia contemple motogeradores que atendam toda a carga considerada fundamental para a manutenção das atividades da edificação, com uma redundância de pelo menos 100%. Para uso em situação de emergência, recomenda-se ainda outro grupo motogerador localizado em compartimento segregado. Esta solução é importante para que o sistema não fique vulnerável a possíveis falhas, além de permitir atender às necessidades básicas da edificação no caso de manutenção nos sistemas de geração renovável (IAB 2013).

O dimensionamento dos motogeradores deverá considerar a curva de carga estimada (elétrica e térmica) da edificação, a curva de eficiência do motogerador e o ponto ótimo de operação considerando as necessidades de geração combinada de eletricidade e de calor. Isso é importante para que o sistema seja eficaz e eficiente. Em alternativa aos combustíveis fósseis, o uso de biocombustíveis deverá ser preferido sempre que possível.

### 3.2.2 Avaliação das matrizes e escolha da solução energética ótima

Conhecidos o perfil de consumo, as topologias de matrizes e os equipamentos viáveis para compor o sistema de geração, parte-se para a avaliação e escolha da solução energética. Para isso, seguem-se as seguintes etapas (Christo 2012):

- Inserção dos dados no software de simulação e validação do modelo da edificação;
- simulação das matrizes híbridas de diferentes topologias e avaliação de desempenho;
- avaliação e classificação das matrizes híbridas ; e
- escolha da solução de matriz energética para a edificação segundo critérios de segurança, impacto ambiental, complexidade, desempenho e custo.

A quantidade máxima de aerogeradores, painéis solares, geradores e demais equipamentos pode ser definida pelas restrições de área existente para instalação e recurso financeiro disponível.

Em virtude das inúmeras possibilidades, recomenda-se que as matrizes sejam organizadas em grupos em função da potência renovável e da demanda média da edificação. Assim, quanto a potência renovável instalada, são possíveis três tipos de soluções (Christo 2012):

- (Potência Renovável Instalada)  $\ll$  (Demanda Média);
- (Potência Renovável Instalada)  $\cong$  (Demanda Média); e
- (Potência Renovável Instalada)  $\gg$  (Demanda Média).

Considera-se Potência Renovável Instalada (PRI) a máxima potência que a planta renovável será capaz de gerar sob condições nominais. Já a Demanda Média (DM) é definida como a relação entre a energia elétrica (kWh) consumida em um certo tempo e o número de horas desse período (Martins & Haddad 2001). De forma geral, quanto maior for a PRI em relação a DM, maior será a penetração das fontes renováveis na matriz e mais custosa será a estabilização da rede.

Para avaliar o desempenho das diferentes opções de matrizes, calculam-se indicadores como: economia anual de combustível por potência renovável instalada. Quanto maior for o volume economizado por quilowatt instalado, melhor é considerado o desempenho da solução.

Recomenda-se que a avaliação do desempenho tome como referência o combustível economizado ou o equivalente gerado. Assim, os indicadores financeiros podem ser obtidos a partir dos indicadores de desempenho, considerando como unidade monetária o litro de combustível.

Assim, para a comparação de desempenho e impacto das matrizes, sugere-se a avaliação dos seguintes indicadores (Christo 2012):

- economia anual de combustível obtida pela matriz renovável;
- razão da economia anual por PRI;
- área necessária para instalação da matriz renovável;
- razão da área necessária por PRI; e
- razão de economia por área necessária para instalação;

O uso de baterias deverá ser cuidadosamente avaliado, devido a presença de elementos tóxicos, a sensibilidade das células a temperaturas extremas e ao elevado peso e volume. Para o amortecimento dos fluxos de potência e armazenamento de excedentes energéticos da planta



renovável, recomenda-se o uso de resistências elétricas integradas ao sistema de aquecimento de água, o uso de volantes de inércia e outras tecnologias, como supercapacitores (IAB 2013).

Considerando as complexidades de instalação e manutenção em clima extremo e o impacto ambiental decorrente, sugere-se buscar a solução que melhor se adeque às capacidades logísticas e que provoque menor impacto ambiental do ponto de vista de área necessária para implantação; maior economia de combustível e que possibilite o estudo detalhado de custos e desempenho real para futura otimização e ampliação da matriz (Christo 2012).

Por fim deve-se prever um estudo particular para aplicação de um sistema de gestão técnica da rede. Esse sistema permitirá o controle da energia solicitada pelos diversos segmentos consumidores da maneira mais eficiente possível, respondendo em tempo real às mudanças climáticas, às necessidades da edificação e às situações de emergência (Rattinghe 2008).

#### 4 CONCLUSÕES

Os critérios para planejamento e projeto reunidos e organizados neste trabalho retratam as particularidades encontradas para se estabelecer projetos de energias renováveis em ambientes extremos e permitem conduzir, de forma eficiente, o planejamento e o projeto de matrizes energéticas híbridas. As etapas de diagnóstico energético, estimativa de recursos e limitações constituem a base de dados que sustentará todo o projeto e que permitirá o entendimento da dimensão e complexidade que o mesmo terá. Em ambientes extremos, devido às particularidades do clima, pode ocorrer a necessidade de modificações em componentes estruturais, isolamentos, lubrificantes e materiais. Devido às restrições logísticas e a variabilidade do clima, as manutenções previstas devem ser simples e rápidas de forma que possam ser programadas e executadas em curtos intervalos. A aplicação de sistemas de recuperação de calor em geradores é considerada indispensável, uma vez que permite elevar a eficiência do sistema para valores acima de 70%. Quanto à definição da matriz ótima, as avaliações de área necessária ou impactada, adequação às capacidades logísticas e segurança humana, se sobrepõe ao custo e são eliminatórias.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Este trabalho integra o Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia Antártico de Pesquisas Ambientais (INCT-APA) que recebe apoio científico e financeiro do Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq processo n ° 574018 / 2008-5), da Fundação Carlos Chagas de Amparo a Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ n ° E-16 / 170,023 / 2008) e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Os autores também reconhecem o apoio dos Ministérios da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), do Meio Ambiente (MMA) e Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (CIRM).

#### REFERÊNCIAS

AAD. 2011. *Australian Antarctic Division*. Research Stations. Disponível em: <<http://www.antarctica.gov.au/living-and-working/stations>>. Acesso em: 29 de junho de 2011.

ATS. 2014. *Secretariat of The Antarctic Treaty*. The Antarctic Treaty. Disponível em: <<http://www.ats.aq/e/ats.htm>>. Acesso em julho 2014.

Bekele, G., & Boneya, G. 2012. Design of a Photovoltaic-Wind Hybrid Power Generation System for Ethiopian Remote Area. *Energy Procedia* 14 , pp. 1760-1765.

Boccaletti, C., Felice, P. D., & Santini, E. 2014. Integration of renewable power systems in an Antarctic Research. *Renewable Energy* , doi: [dx.doi.org/10.1016/j.renene.2013.08.021](https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.08.021) (62), 582-591.

Christo, T. M. 2012. Uma proposta de matriz energética para a estação antártica comandante ferraz: uma experiência aplicável a novas edificações. *Dissertação de Mestrado*. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória-ES, Brasil.

- CIRM. 2014. *Comissão Interministerial para Recursos do Mar. Programa Antártico Brasileiro - PROANTAR. Reconstrução da Estação Antártica Comandante Ferraz.* Disponível em: <<https://www.mar.mil.br/secirm/proantar.html#reconstrucao>>. Acesso em: 01 de outubro de 2014.
- EERE. 2014. *Energy Efficiency Renewable Energy. Building Energy Software Tools Directory.* Disponível em: <[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/subjects\\_sub.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/subjects_sub.cfm)>. Acesso em: 01 de outubro de 2014.
- IEA. 1999. *International Energy Agency Programme. 11. Wind Speed Measurement and use of Cup Anemometry.* Disponível em: <[http://www.ieawind.org/Task\\_11/recommended\\_pract/Recommended%20Practice%2011\\_Anemometry.pdf](http://www.ieawind.org/Task_11/recommended_pract/Recommended%20Practice%2011_Anemometry.pdf)>. Acesso em: 01 de outubro de 2014.
- IAB. 2013. *Istituto de Arquitetos do Brasil. Termo de Referência - Concurso Estação Antártica Comandante Ferraz.* Disponível em: <<http://www.iab.org.br>>. Acesso em 26 de junho de 2013.
- Laine, V. 2007. Antarctic ice albedo, temperature and sea ice concentration trends, 1981-2000. *EUMETSAT Meteorological Satellite Conference*, p. 50.
- Lora E. E., Nascimento M. A. 2004. *Geração termelétrica: planejamento, projeto e operação.* Editora Interciência. Rio de Janeiro, Brasil.
- Manwell, J., McGowan, J., & Rogers, A. 2002. *Wind Energy Explained - Theory Design And Application.* Editora John Wiley & Sons Ltd. Baffins Lane, Chichester, England.
- Martins, A. R., & Haddad, J. 2001. *Conservação de Energia: Eficiência energética de instalações e equipamentos.* Editora da EFEI. Itajubá, Brasil.
- MEASNET. 2009. Measuring Network of Wind Energy Intitutes. Evaluation of Site-specific Wind Conditions - Version 1. Disponível em: <[http://www.measnet.com/wp-content/uploads/2012/04/Measnet\\_SiteAssessment\\_V1-0.pdf](http://www.measnet.com/wp-content/uploads/2012/04/Measnet_SiteAssessment_V1-0.pdf)>. Acesso em: 01 de outubro de 2014.
- Oliviera, J. R., Harmsa, T. M., & Esterhuyse, D. J. 2008. Technical and economic evaluation of the utilization of solar energy at South Africa's SANAE IV base in Antarctica. *Renewable Energy 33*, pp. 1073-1084.
- Patel, M. R. 1999. *Wind and Solar Power Systems.* Editora CRC Press. New York, United States.
- PEA, P. 2009. Princess Elisabeth Antarctica Station. A "ZERO EMISSION" STATION?. Disponível em: <<http://www.antarcticstation.org/station>>. Acesso em agosto de 2009.
- PolarFoundation. 2009. International Polar Foundation. Disponível em: <<http://www.polarfoundation.org/>>. Acesso em Agosto de 2009.
- Rattinghe, K. V. 2008. Princess Elisabeth Research Station at Antarctica - Renewable Energy Systems design, simulation and optimization. *Dissertação de Mestrado. Delft University of Technology.* Delft, Denmark.
- Reichert, G. A. 2006. Aplicação Da Digestão Anaeróbia De Resíduos Sólidos Urbanos: Uma Revisão. *23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, pp. III-242.
- SciencePoles. 2010. Polar science magazine. *Princess Elisabeth Antarctica: Changing the Way We Think about Using Energy.* Disponível em: <<http://www.sciencepoles.org>>. Acesso em janeiro de 2010.
- Smith, Z., Negnevitsky, M., Wang, X., & Michael, K. 2013. Cold Climate Energy Production. *Australasian Universities Power Engineering Conference-AUPEC.* Hobart, TAS: IEEE.
- T. Muneer, C. G. 2004. *Solar Radiation and Daylight Models (Second Edition).* Editora Butterworth Heinemann. Edinburgh, UK.
- Tetz, H., Harms, T., & Backstrom, T. v. 2003) Assessment of the wind power potential at SANAE IV base, Antarctica: a technical and economic feasibility study. *Renewable Energy 28*, pp. 2037-2061.
- Tin, T., Sovacool, B. K., Blake, D., Magill, P., Naggar, S. E., Lidstrom, S., et al. 2010. Energy efficiency and renewable energy under extreme conditions: Case studies from Antarctica. *Renewable Energy 35*, pp. 1715-1723.
- Woelffel, A. B., Alvarez, C. E., Soares, G. R., & Cruz, D. O. 2007. Resíduos sólidos gerados pelas atividades de produção e consumo de alimentos na Estação Antártica Comandante Ferraz. *VII Seminário Estadual sobre Saneamento e Meio Ambiente.* Vitória-ES, Brasil.