



ISSN: 1984-3151

## VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA

### TECHNICAL AND ECONOMIC FEASIBILITY OF DISTRIBUTED GENERATION OF ELECTRICITY

**Frederico Augusto Ornelas Rabelo; Marcos Vinícius do Espírito Santo;  
Leonardo Henrique de Melo Leite; Arlete Vieira da Silva**

Centro Universitário de Belo Horizonte, Belo Horizonte, MG

fred.aor@hotmail.com; marcos-ves@yahoo.com.br;  
leonardo.leite@prof.unibh.br; arlete.silva@prof.unibh.br

Recebido em: 27/06/2011 - Aprovado em: 06/07/2011 - Disponibilizado em: 24/07/2011

*RESUMO: Este artigo aborda sobre a viabilidade técnica e econômica da concepção e implantação de microredes de Geração Distribuída (GD) de energia. Um estudo foi realizado em uma região rural para avaliar o potencial de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, sendo esta já assistida pela rede convencional brasileira de energia. Foram estudadas as fontes renováveis de energia do povoado, analisado o sistema convencional de geração, transmissão, distribuição de energia elétrica desta região e a viabilidade técnica e econômica de implantação de Geração Distribuída, além de sua interconexão, ou não, à rede básica. Os procedimentos metodológicos usados foram pesquisas bibliográficas e documentais, entrevistas com formulários padronizados, e Estudo de Caso. Este Estudo foi realizado em Minas Gerais avaliando as condições atuais da eletrificação da área pesquisada e da implantação dos tipos de fontes de eletricidade – biomassa (biogás e queima de eucalipto), eólico, solar fotovoltaico. A partir dele, foram feitos cálculos e orçamentos junto a empresas. Conceberam-se, então, modelos de geração de eletricidade através de fontes renováveis constituindo uma GD. Por fim, estimaram-se os custos de implantação dos modelos na comunidade estudada e fizeram-se estimativas de custo para produção de energia elétrica, através de investimentos privados, considerando algumas situações possíveis de serem criadas, sendo elas: geração para consumo próprio, geração com venda de excedentes e possíveis expansões. Desta forma, evidenciou-se o alto valor dos investimentos necessários para utilização das fontes renováveis em pequenas gerações de energia elétrica, haja vista o cenário atual.*

*PALAVRAS-CHAVE: Eletrificação. Energia elétrica. Fontes Renováveis. Geração Distribuída.*

*ABSTRACT: This article focuses on the technical and economic feasibility of the design and implementation of energy micronets Distributed Generation (GD). For this, a study was conducted in a rural area to assess the potential of generating electricity from renewable sources, and this has assisted the Brazilian network of conventional energy. We studied the renewable energy village, considered the conventional system of generation, transmission, distribution of electricity in this region and the technical and economic feasibility of implementing distributed generation and its interconnection to the basic network or not. The methodological procedures were used bibliographic and documentary research, interviews with standardized forms, and Case Study. This study was conducted in Minas Gerais assessing the current conditions of the electrification of the area surveyed and deployment of the types of electricity sources - biomass (biogas and burning eucalyptus), wind, solar photovoltaic. The calculations were made from it with companies and budgets. It is conceived, then, models of generating electricity through renewable sources constitutes a GD. Finally, they estimated the costs of implementation of the models studied in the community where they were cost estimates for electric power production through private investment, considering some possible scenarios to be created, namely: generation for own consumption, generation the sale of surplus and possible expansions. In this way demonstrated the high value of the investments required for the use of renewable sources in electricity generation small, given the current scenario.*

*KEYWORDS: Electrification. Electric Energy. Renewable Energy Sources. Distributed Generation..*

## 1 INTRODUÇÃO

A pesquisa cujos resultados se apresentam neste artigo procurou identificar a viabilidade técnica e econômica da instalação de uma rede de Geração Distribuída (GD) na cidade de Caeté (MG) e também analisar alguns parâmetros como: o sistema de fornecimento de energia convencional; o potencial de uso de fontes renováveis; os parâmetros de qualidade de energia, o aumento de demanda e o perfil de consumidores.

A partir de questionários aplicados a moradores e companhias de agronegócios da cidade de Caeté, buscou-se conhecer as cargas de energia nas residências; o perfil de consumo dos moradores, as atividades econômicas desenvolvidas e a existência de subprodutos ou resíduos, que poderiam ser convertidos em energia; bem como, conhecer os dados da rede de distribuição que atende à região, através de entrevistas com técnicos locais; e, por fim, conhecer os tipos de transformadores, cabeamento, posteamento, capacidade instalada, tensão de distribuição e demais características da rede de distribuição de energia.

Fez-se ainda um levantamento abrangente de todos os recursos energéticos renováveis da região e verificou-se que a aplicação da biomassa é potencialmente disponível, devido ao arranjo produtivo local. No entanto, outras fontes de energia como a eólica e a solar não foram possíveis de ser identificadas, pois a simples observação do local não serve como parâmetro indicativo quanto a suas aplicabilidades. O estudo, portanto, se aprofundou nas fontes eólica e solar para se

conhecer as condições atuais climatológicas da região.

Obteve-se, dessa forma, informações importantes da comunidade de Caeté, como seu histórico político/econômico, a incidência de recursos renováveis para aplicação na geração de energia, a vida útil desses recursos e a projeção do aumento do consumo de energia da região.

## 2 AÇÕES FORMATIVAS: O CAMPO DE PESQUISA

Situada a 56 km de Belo Horizonte, Caeté foi escolhida para a realização da pesquisa por se tratar de uma região detentora de grandes recursos naturais e em expansão econômica, o que acarreta um aumento do consumo de energia elétrica. Localizada à latitude de  $-19^{\circ}52'48''$ , longitude de  $-43^{\circ}40'11''$ , altitude de 945 metros, Caeté possui extensão territorial de 542,57 km<sup>2</sup> e, atualmente, possui 40.786 habitantes dos quais 5.335 residem no meio rural<sup>1</sup>.

Sua formação administrativa se constitui de seis distritos: Caeté (Sede), Roças Novas, Penha, Rancho Novo, Morro Vermelho e Antônio dos Santos. O distrito de Antônio dos Santos abriga um povoado chamado Água Limpa que é o local específico para o desenvolvimento desta pesquisa. Nesta região, que está a aproximadamente 80 km da capital, os moradores vivem principalmente da atividade rural de subsistência com cultivo de hortaliças e criação de animais, dependendo de poucos produtos obtidos na área urbana.

---

<sup>1</sup> IBGE, 2010

Sua atividade econômica caracteriza-se principalmente pelo comércio, setor de serviços com empresas de pequeno e médio porte, e pelo setor de mineração. Até o ano de 1996, Caeté abrigava uma empresa de grande porte, a Barbará (antiga Ferro Brasileiro S.A.) que chegou a empregar cerca de 5.000 pessoas, sendo até então, a principal atividade econômica do município.

Apesar de possuir energia do sistema centralizado, a região de Caeté apresenta inicialmente boa capacidade de recursos energéticos o que pode significar um desenvolvimento socioeconômico para seus moradores através da utilização de Geração Distribuída.

### **3 TÓPICOS ABORDADOS NOS QUESTIONÁRIOS**

A investigação partiu da aplicação de questionários que visavam obter elementos para se construir o perfil da comunidade. Portanto, o primeiro questionário procurou conhecer: a distância entre a capital (BH) e Caeté; a extensão da região; o total da população; as principais atividades econômicas; as cargas elétricas residenciais utilizadas; as falhas no fornecimento de energia elétrica; o uso coletivo da energia; as cargas elétricas industriais utilizadas; as características socioeconômicas dos moradores e o aproveitamento de fontes renováveis na geração de energia elétrica.

O segundo questionário objetivou obter dados dos empreendimentos de agronegócios existentes na região como: o nome dos empreendimentos; os tipos de atividade econômica e a capacidade produtiva de cada empreendimento; o tipo de máquinas e de

equipamentos utilizados; a abrangência de mercado; os insumos ou resíduos gerados na produção; a quantidade de insumos; os subprodutos gerados; a previsão de expansão de cada empreendimento; a demanda futura de consumo de energia elétrica; as falhas no fornecimento de energia elétrica; e as características do sistema elétrico do agronegócio.

O terceiro questionário procurou informações sobre as características técnicas da linha de transmissão de energia; identificar a subestação que atende à comunidade; a potência consumida, os tipos de postes, a capacidade instalada total, a tensão de distribuição, a rede (n° de fases), a carga instalada total, a composição da carga de serviço público, a composição da carga residencial e a frequência de falhas no atendimento; bem como, saber o tempo estimado para correção de falha, o custo do kWh, o custo estimado da instalação da infra-estrutura da eletrificação e, por fim a existência de projetos para explorar recursos energéticos renováveis para geração de eletricidade.

### **4 LEVANTAMENTO DE RECURSOS ENERGÉTICOS**

O potencial energético da região foi baseado nas fontes de energia renováveis: a eólica, a solar e a biomassa.

Para o levantamento do potencial eólico utilizou-se o Atlas Eólico de Minas Gerais do ano 2010 complementado com as medições de velocidade dos ventos, fornecidas pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil), bem como pesquisas de custos e dados técnicos de equipamentos junto a fornecedores.

Para o estudo da energia solar, consultou-se o Atlas de Irradiação Solar no Brasil do ano 1998, medições de radiação feitas pelo INMET e análise de radiação, usando-se o *software* Radiasol2 da UFRGS (Universidade Federal do Rio Grande do Sul), acrescido de pesquisas de custos e dados técnicos de equipamentos junto a empresas detentoras dessa tecnologia.

Para o estudo do potencial da biomassa, aplicou-se o questionário de agronegócio a empresas da região e, posteriormente, foram feitos levantamentos junto a fornecedores de equipamentos de geração de energia movidos a biogás e, também, a vapor, além de efetuar cálculos na metodologia do *Winrock*.

## 5 QUESTIONÁRIO 1 - CARACTERÍSTICAS DO POVOADO

O primeiro questionário (ANEXO 1) foi aplicado aos moradores da comunidade de Caeté, o que possibilitou conhecer, em mais detalhes, as características socioeconômicas destes.

Perguntas foram feitas a 30 moradores, equivalendo a aproximadamente 35% das casas habitadas da comunidade. As moradias de taipas, não revestidas, estão totalmente desabitadas. Vale salientar que, para se ter a proporção das moradias atendidas por este questionário, foram feitas pesquisas preliminares à Secretaria Municipal de Saúde, que forneceu dados importantes da região. A Tabela 1 apresenta as principais informações desse órgão municipal.

**TABELA 1**  
CARACTERÍSTICAS DO POVOADO DE ÁGUA LIMPA

Característica	Resultado	
	Tipo	Quantidade
Número de Pessoas	Masculino	165
	Feminino	118
Abastecimento de água	Rede Pública	2
	Poço ou nascente	105
Tratamento de água no domicílio	Filtração	*****
	Tratamento caseiro (hipoclorito de sódio)	*****
Destino do lixo (coleta pública e mínima)	Queima	*****
	Enterra	*****
Esgotamento sanitário	Fossa	*****
	Lançado a céu aberto	*****

A pesquisa *in loco* comprovou não apenas essas informações como também outras igualmente importantes. No que diz respeito às edificações, Água Limpa possui casas antigas e outras obras que parecem bem recentes e em bom estado de conservação. A maioria das casas utiliza água de nascentes, o esgoto é direcionado para fossas sépticas, há plantações para consumo próprio, pequenas criações de gado e acesso à eletricidade. Os eletrodomésticos básicos, como: geladeira, televisão, ferro de passar roupas e aparelho de som são suas principais cargas. O acesso à telefonia se dá através de celulares com antenas locais, pois são os únicos que funcionam adequadamente.

A demanda de energia elétrica dessa comunidade caracteriza-se pelo baixo consumo

que é de aproximadamente 28 KWh/mês, subsidiados pela tarifa reduzida para Zona Rural, com o custo de R\$ 0,28/kWh. As residências são atendidas por transformadores monofásicos de baixa potência, normalmente, 5 KVA. Como muitas casas possuem caldeiras para aquecimento de água para banho, o chuveiro elétrico é pouco comum. Durante a pesquisa, relataram-se falhas do sistema de distribuição que ocorrem com mais frequência nos meses de grande incidência de ventos e de chuvas. Segundo os entrevistados, ocorreu falta de energia elétrica por duas semanas consecutivas.

Os recursos de combustíveis renováveis, quando analisados individualmente, ou seja, no âmbito de cada um dos consumidores, não são tão atrativos, visto que a capacidade de geração e a quantidade desses recursos são pequenas se comparadas ao investimento financeiro individual. A possibilidade de associação desses recursos em empreendimentos coletivos pode ser uma solução, uma vez que a capacidade tende a ser maior e o custo é diluído entre os usuários.

Apesar de não terem um consumo elevado de energia elétrica, a possibilidade de GD é vista como uma boa solução para o desenvolvimento socioeconômico dos moradores da região.

## **6 QUESTIONÁRIO 2 – PERFIL DO SETOR DE AGRONEGÓCIO**

O segundo questionário (ANEXO 2), destinado às empresas de agronegócio, trouxe informações relevantes acerca da questão energética no âmbito das atividades econômicas da região.

A silvicultura de eucaliptos é a atividade econômica que se destaca na região. Apesar disso, ela é limitada na geração de resíduos passíveis de aproveitamento para geração de energia. Isso acontece porque a produção não é processada no local e as peças são comercializadas depois de serem desgalhadas. Existe o processamento do carvão, realizado a partir do excedente retirado dos eucaliptos, mas, para a geração de energia elétrica, é necessária grande quantidade de resíduos, de forma que se torna viável financeiramente a comercialização do carvão e não sua utilização na concepção de energia elétrica.

Fez-se um orçamento junto à empresa TGM (fabricante de grupo geradores) para verificar a possibilidade de compra do conjunto de equipamentos para geração de energia elétrica através de queima de resíduos. A empresa sugeriu um sistema projetado com a menor micro-turbina a vapor comercializada, modelo TG 320 até 300KW, caldeira 5000Kg de vapor, pressão 21 bar, 200 a 300 °C, condensador, painel de controle e casa de força, estimado em R\$ 800.000,00, valor total do sistema. Para o devido funcionamento do grupo gerador em questão, são necessárias aproximadamente cinco toneladas de vapor. Para efeito de comparação, uma tonelada de eucalipto é capaz de fornecer três toneladas de vapor como combustível.

Visto a quantidade necessária de biomassa para alimentar o sistema e o preço dos equipamentos, esta forma de geração se torna inviável, uma vez que é mais lucrativa a comercialização do eucalipto. Para sua viabilização do empreendimento, seria necessário o desenvolvimento de um sistema

de micro turbinas de menor porte, capaz de gerar energia com pequenas quantidades de biomassa, através do excedente.

Outro empreendimento da região, mas não tão importante, é a granja de aves para corte. Atividade econômica secundária, devido ao bom nível de controle automático do processo, que necessita apenas de um empregado para manipular todo o sistema. Uma das granjas estudadas tem, atualmente, capacidade produtiva de 7.000 aves a cada 45 dias. O galpão tem 60m de comprimento, 10m de largura e está no seu 21º lote produtivo, possui máquinas para o preparo da ração: triturador de milho (7,5 CV) e misturador (3 CV). As demais cargas existentes no galpão são 6 ventiladores (1/2 CV), 2 motores (2 CV) da linha automática de reposição de ração para os animais e 12 lâmpadas (100 W).

As características do sistema elétrico da granja descrita são: tensão de 220 VCA; o número de fases é de 1F; o transformador de 37,5 KVA e o custo da energia de 0,28 R\$ / KW (tarifa rural).

O consumo da granja gira em torno de 480 KWh/mês, o que corresponde a um custo mensal de R\$134,00.

Mesmo com baixo consumo, é fundamental a energia para a empresa, pois com a expansão prevista, essa energia também irá aumentar.

É interessante dizer que, quando o ciclo produtivo alcança o 39º dia, os animais chegam a pesar 2,4 kg e consomem 1.400 kg de ração por dia. Em caso de falta de energia, todo este serviço de reposição da ração é feito manualmente.

Como ocorrem falhas frequentes no sistema centralizado de distribuição de energia, há um

grande interesse dos proprietários de granjas em gerar o biogás a partir dos dejetos dos frangos e, conseqüentemente, a energia elétrica. O grande atrativo dessa atividade é que, além de ter a energia elétrica disponível, existe a possibilidade de comercialização do excedente e ainda continuar a negociar o fertilizante de forma ambientalmente correta.

De posse destes dados, os cálculos para estimar o potencial de geração de biogás e energia elétrica foram realizados, usando a metodologia do Instituto *Winrock*. No Brasil, o Instituto *Winrock* desenvolve projetos nas áreas de energia renovável/eficiência energética, serviços ambientais e desenvolvimento de lideranças.

No que diz respeito à energia renovável e à eficiência energética, o *Winrock* promove o debate em torno de políticas públicas para incentivar investimentos na área, estimula a criação de linhas de crédito especiais para programas de energia limpa com investidores e bancos multilaterais, promove cooperação tecnológica com outras instituições, desenvolve e implementa modelos de eletrificação para comunidades isoladas, além de oferecer treinamento e capacitação para projetos na área. (WINROCK, 2008).

O Instituto criou um método de cálculo de biogás gerado por dejetos animais e, conseqüentemente, a energia elétrica que pode ser obtida. Esta didática baseia-se em uma tabela pré-definida por estudos e experimentos, em que se tem o volume de biogás/Kg de esterco, utilizado em equações que serão exploradas adiante.

A Tabela 2 contém o potencial de metro cúbico de biogás por quilograma de dejetos de frango de corte. Este valor foi utilizado na Tabela 3 para quantificar o biogás e a energia elétrica que poderia ser gerada a partir de esterco de aves.

**TABELA 2**

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS X DEJETOS ANIMAIS

POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS ANIMAIS	
Espécies	m <sup>3</sup> de biogás/kg de esterco
Porcelinos	0,1
Frangos de corte	0,09
Suínos	0,075
Caprinos	0,060
Bovinos de corte	0,04
Bovinos de leite	0,048
Cochonias	0,040

FONTE: Winrock, 2008.

A Tabela 3 contém o passo a passo do cálculo da estimativa de geração de energia elétrica, de acordo com quantidade de dejetos, resultante do empreendimento.

Conforme os dados da Tabela 3, tem-se uma média 308 Kg/dia, que equivale a um potencial 28 m<sup>3</sup>/dia que gera 154 kWh/dia em um total de 4.620 kWh/mês.

Para dimensionamento do Biodigestor a Winrock indica a equação:

$$VB = VC \times TRH$$

Sendo:

VB = Volume de biodigestor (m<sup>3</sup>)

VC = Volume da carga diária (dejetos + água) (m<sup>3</sup>/dia)

TRH = Tempo de retenção hidráulica (dias).

TRH = 60 dias

O VC foi obtido seguindo os passos da Tabela 4.

**TABELA 3**

CÁLCULOS DO BIOGÁS E ENERGIA ELÉTRICA GERADA

		VALOR	OPERAÇÃO
1	Total de dejetos/dia	308 kg/dia	Anotar o valor
2	Total de biogás/dia	28 m <sup>3</sup> /dia	Multiplicar Linha 1 pelo valor de m <sup>3</sup> biogás/kg dejetos de Tabela 7 para o tipo de animal
3	Total de biogás/mês	840 m <sup>3</sup> /mês	Multiplicar Linha 2 por 30
4	Equivalente em Botijão de Cozinha 13 kg de GLP	25 botijões/mês	Dividir Linha 3 por 33 (33m <sup>3</sup> de biogás = 1 GLP)
5	Equivalente em Energia Elétrica	4.620 kWh/mês	Multiplicar a Linha 3 por 5,5 (1m <sup>3</sup> biogás = 5,5 kWh)

FONTE: Winrock, 2008.

**TABELA 4**

VOLUME DE CARGA DIÁRIO

COMO CALCULAR O VOLUME DE CARGA		
Animal - frango	Equação	Resultado
Dejeto por animal (kg)	A	0,044Kg
Qde. ani-mais	B	7.000
Tot. de dejeto (kg)	C = A x B	308
Prop. de água	D	1:4,5
V. de água (m <sup>3</sup> )	E = C x D	1,386
V. da carga (m <sup>3</sup> )	F = C + E	1,694

FONTE: Winrock, 2008.

Resultado: VB = 1,694 x 60 = 101,6 m<sup>3</sup>

Baseando-se nesses valores, foi orçado um biodigestor junto a Recolast, empresa que fornece manta para o Biodigestores, sugerindo o Kit Biodigestor dimensionado a seguir.

A Tabela 5 fornece o custo do equipamento e a Tabela 6, as características do biodigestor, levando em consideração o animal que fornece os dejetos. A Tabela 7 ilustra as capacidades volumétricas e a Tabela 8 trata das características dimensionais do Kit.

**TABELA 5**  
ORÇAMENTO DO KIT BIODIGESTOR

DESCRIÇÃO	QT.	UNI	PREÇO UNI/ R\$	TOTAL/ R\$
BIOD.TUB.(3 X 12) 90m3 (PVC 1mm reforçado)	1	PC	4.943,00	4.943,00
Instalação (diária)	3	DI	750,00	2.250,00
MANTA GEOTEXTIL	132,3	m2	3,85	509,36
LAGOA AERÓBICA (PVC 0,80mm)	144	m2	15,89	2.288,16
Dispositivo Gerador Descarga	1	PC	8.500,00	8.500,00
Válvula de alívio	1	Um	250,00	250,00
Flange 6pol.	4	Um	44,00	176,00
Tubulação flexível 2 pol.	20	Um	10,00	200,00
<b>Total Geral</b>				<b>R\$ 19.116,52</b>

**TABELA 6**  
CARACTERÍSTICAS DO BIODIGESTOR

Animal	QT.	Volume diário (m³)	Fezes/água Litros	Tempo retenção (dias)
Suíno	0	0	0	30
Gado	0	0	0	55
Cavalo	0	0	0	55
Aves	7.000	560	1.120	60

**TABELA 7**  
CARACTERÍSTICAS VOLUMÉTRICAS

Volume digestor	67	m³
Volume biofertilizante	67	m³
Volume alimentador	7	m³
Volume de biogás	35	m³/dia

**Tabela 8**  
DIMENSIONAL DO KIT DO BIODIGESTOR

Biodigestor	Diâmetro	5	m
	Comprimento	4	m
	Volume	96	m³
	Área manta	113	m²
Tanque Biofertilizante	Volume	67	m³
	Altura	1,5	m
	Largura	8	m
	Área manta	144	m²

Analisando os resultados para este empreendimento, são apresentados quatro cenários possíveis, discutidos a seguir.

No primeiro, considerando a geração de energia apenas para consumo próprio, seria necessário um investimento de R\$ 39.116,52, dividido em R\$ 19.116,52, referente ao Kit do biodigestor e R\$ 20.000,00 que corresponde a um gerador de 20 kVA. Este último valor representa a média praticada comercialmente para o custo de geradores a biogás que é de R\$ 1.000,00/kVA. Nesta arquitetura de geração, levar-se-iam aproximadamente 24 anos para ser pago o investimento privado, considerando-se a conta de energia elétrica paga atualmente de R\$ 134,00.



O segundo cenário considera a comercialização da energia excedente, mantendo-se o consumo atual da granja de 480 kWh/mês. O sistema sendo capaz de fornecer 4.620 kWh/mês, sobriariam, pois, 4.140 kWh/mês para serem comercializados. Tomando como base a tarifa atual aplicada pela concessionária que é de R\$ 0,28/kWh, o empreendimento lucraria R\$ 1.159,20 na venda da eletricidade e 2 anos e meio para retorno do investimento.

O cenário seguinte propõe a duplicação da capacidade produtiva da granja e a geração de energia apenas para o consumo próprio. Como mencionado anteriormente, existe a intenção do aumento da produção de frangos para 14.000 unidades a cada 45 dias, duplicando o galpão e todo o maquinário do empreendimento. Isso provocaria a alteração de alguns parâmetros do kit biodigestor, cujo custo, segundo a Recolast, seria de R\$ 25.629,41 e, somados ao custo do gerador de 40 kVA, o custo total passaria a ser de R\$ 65.629,41. O consumo de energia da granja aumentaria para 960 kWh/mês o que supostamente representaria um custo de R\$ 268,00, caso esta estivesse pagando à concessionária. Nesta situação, produziria 56 m<sup>3</sup> de biogás gerando 9.240 kWh/mês e seriam necessários 20 anos para que o investimento fosse pago.

O quarto cenário considera a possibilidade de comercialização do excedente de energia na situação do empreendimento com capacidade produtiva duplicada. Neste caso, sobriariam 8.280 kWh/mês para serem comercializados e novamente tomando como base a tarifa de R\$ 0,28kWh, pela energia da rede convencional, o empreendimento lucraria R\$ 2.318,40 na venda

da eletricidade, levando-se 2 anos para se pagar os custos do sistema.

Os cenários mais indicados seriam o segundo e quarto, visto que o investimento pode ser pago em um período de tempo reduzido.

## **7 QUESTIONÁRIO 3 – DADOS DA CONCESSIONÁRIA DE ENERGIA**

Ao realizar o terceiro questionário (ANEXO 3), destinado à concessionária de energia, boa parte das informações técnicas desejadas sobre o sistema de distribuição foram alcançadas. Nesta etapa, foram de grande importância os dados fornecidos pelos técnicos da empresa distribuidora, cujas informações retrataram a realidade da rede elétrica atual da localidade em estudo.

A subestação de Caeté (MG) é alimentada por uma linha de subtransmissão de 69 KV, proveniente da subestação Taquaril, em Sabará. Esta subestação é composta por dois transformadores de 12 MVA responsáveis pelo abaixamento da tensão de 69 KV para 13,8 KV para atendimento às linhas de distribuição da cidade.

Normalmente, um destes transformadores atende a três alimentadores que suprem todo o município; o outro transformador destina-se a uma mineradora instalada na região.

A região de Água Limpa é atendida por um alimentador que, além do povoado, alimenta também parte da distribuição urbana do município. É importante observar que, após transpor os limites da sede do município em direção ao povoado e demais áreas rurais, a distribuição que, até então era feita por uma instalação trifásica, passa a ser monofásica.

Algumas características da rede elétrica que atende a região são: a tensão de distribuição: 7,97 KV; o número de Fases: 1; a capacidade total instalada de 1,33 MVA; a tensão de consumo: 127 VCA. Carga total instalada: 700 KVA.

Nos dados apresentados, para que fosse possível estimar a carga total instalada, levou-se em consideração o número de transformadores de distribuição instalados que atendem o consumo residencial. De acordo com os técnicos entrevistados, pode-se estimar 70 unidades de 5 KVA, 20 unidades de 10 KVA e 10 unidades de 15 KVA.

Em condições normais, estes transformadores alimentam até quatro casas. Estes domicílios, como visto anteriormente, apresentam um consumo moderado e suas cargas principais são eletrodomésticos básicos e são tarifadas como consumidores rurais.

Além dos consumidores residenciais e das atividades de agronegócio, existe o consumo de serviço público como a iluminação da praça onde se encontram a igreja e o posto de saúde. Este consumo é pequeno, pois existem aproximadamente 10 lâmpadas no entorno da praça, e o posto de saúde funciona apenas durante o dia.

Os técnicos da concessionária concordaram que, no local, existe uma tendência a ocorrerem falhas e/ou faltas no fornecimento de energia elétrica. Segundo eles, tais faltas são causadas principalmente por quedas de árvores ou galhos, furtos de cabos ou danos nos transformadores. Sobre o tempo de atendimento para correção destes problemas, relataram que é difícil prever, pois existem cargas prioritárias

que devem ser restabelecidas com maior urgência, caso a falha também afete a cidade. Como há uma variedade de problemas que podem afetar a rede, estimaram que, em condições normais, este atendimento pode demorar de 2 a 5 horas para ocorrer.

A concessionária não tem atualmente uma previsão formal de aumento de demanda da região. Contudo, pela existência de casas em construção, previsão de aumento da produção das atividades e até mesmo um aumento do ecoturismo no povoado, a necessidade de disponibilidade de energia elétrica é nítida.

## 8 ANÁLISE DO POTENCIAL EÓLICO

Consultando a Atlas Eólico de Minas Gerais do ano de 2010, constatou-se, previamente, que a região pesquisada contém baixo potencial eólico, por isso, a região não é indicada para este tipo de geração. Com base nestes dados, realizou-se um levantamento sobre a velocidade dos ventos medida a 10 metros de altura na estação meteorológica mais próxima do município em um raio de aproximadamente 120 quilômetros.

As figuras 1, 2 e 3 são gráficos gerados a partir dos dados resultantes da velocidade dos ventos, medida em metros por segundo, em cada dia dos meses de março, abril e maio do ano de 2011, respectivamente. Tendo em vista que os aerogeradores têm sua geração de energia elétrica iniciada quando os ventos alcançam 3m/s, observa-se que, durante o período de 3 meses, em poucos dias, houve o cenário propício para aplicação desta tecnologia na região.



FIGURA 1. Velocidade dos ventos nos dias de março

FONTE: INMET, 2011.



FIGURA 2. Velocidade dos ventos nos dias de abril

FONTE: INMET, 2011.

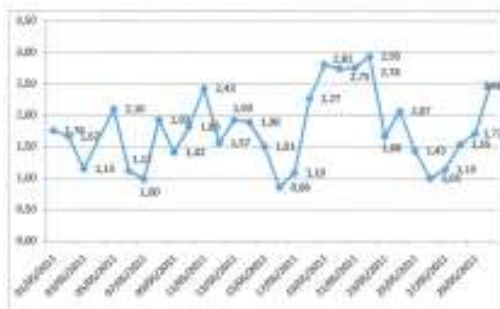


FIGURA 3. Velocidade dos ventos nos dias de maio

FONTE INMET, 2011.

Um aerogerador de 6 kW, com estimativa de 800 kWh/mês, dependendo da sazonalidade dos ventos, custa em média R\$29.500,00, conforme a empresa Eolicario (abr. 2011),

A FIG. 4 ilustra a potência gerada em relação à velocidade do vento, considerando um gerador de 1 kW, em que se observa a velocidade ideal para geração é na faixa 12m/s.

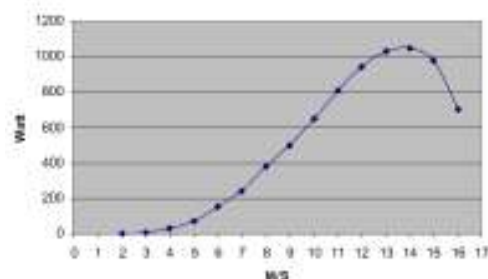


FIGURA 4. Velocidade do vento x potência

Tendo em vista a velocidade mínima dos ventos, necessária para a geração de energia elétrica, e utilizando os aerogeradores e o atual patamar desta tecnologia, conclui-se que, para esta região, é inviável. No entanto, para aplicações específicas, podem ser feitos levantamentos pontuais, o que demanda grande quantidade de tempo e um investimento considerável em instrumentos para medição local, que pode identificar regiões com velocidades atípicas. Outro fator a se considerar é que a evolução tecnológica destes geradores pode promover no futuro a exploração de ventos até então considerados de baixo potencial eólico.

## 9 ANÁLISE DO POTENCIAL SOLAR

A análise técnica e econômica do potencial solar da região para geração de eletricidade foi realizada através de pesquisas a órgãos governamentais, a empresas deste seguimento e a bibliografias técnicas, de forma a apresentar um cenário da situação.

Semelhante à pesquisa formulada para a análise do potencial eólico, foi realizado, junto

ao INMET, um levantamento da incidência de radiação solar da região, no período compreendido entre março a maio de 2011. As figuras 5, 6 e 7 ilustram os valores medidos nesse período.

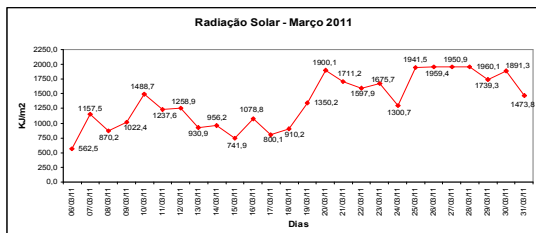


FIGURA 5. Radiação solar nos dias de março  
FONTE: INMET, 2011.

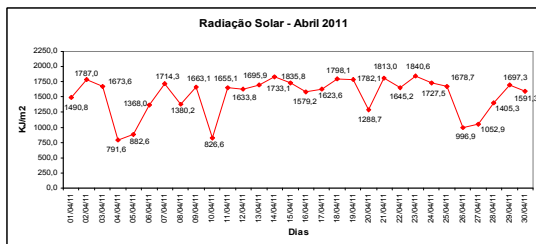


FIGURA 6. Radiação solar nos dias de abril  
FONTE: INMET, 2011.

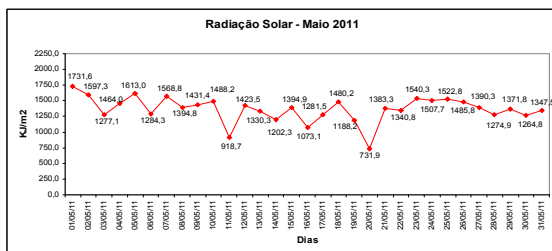


FIGURA 7. Radiação solar nos dias de maio  
FONTE: INMET, 2011.

Estes valores correspondem à radiação média diária para cada um dos meses. Como a medição é constante, foram selecionados todos os valores maiores que zero para eliminar os períodos noturnos ou isentos de insolação, gerando um resultado de 11 a 13 horas diárias

de radiação. Este acumulado é ainda maior do que o previsto para esta região do estado de Minas Gerais que é de 5 a 7 horas de insolação diária (ANEEL, 2011). Para obtenção do valor médio global, foi retirada a média mensal e, posteriormente, feita esta mesma operação para o trimestre. O valor encontrado foi de 1.416,87 KJ/m<sup>2</sup>/dia, o que significa 396,76 Wh/m<sup>2</sup>/dia. A obtenção desse valor de radiação nesta nova unidade foi feita através da relação: 1 MJ = 0,28 KWh.

Visando validar este valor, foi aplicado o *software* Radiasol 2, desenvolvido pela UFRGS, para adquirir estes mesmos dados baseados nas coordenadas geográficas do município de Caeté (MG). A FIG. 8 representa a tela inicial do *software*, já com os dados georeferenciados da localidade pesquisada (UFRGS, 2011).

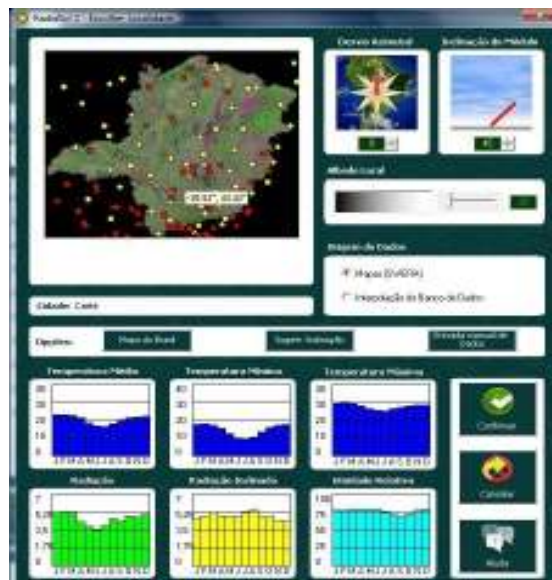


FIGURA 8. Ilustração da pesquisa por localidade no software radiasol2  
FONTE: (UFRGS, 2011)

Como em Água Limpa não existe estação meteorológica, este *software* produz os

resultados através de uma interpolação entre os dados das estações mais próximas.

Na sequência, foi obtido o gráfico detalhado da radiação global horizontal incidente, nesta região, num período de aproximadamente 725 horas, conforme pode ser visto na FIG. 9. Comparando o valor de  $396,76 \text{ Wh/m}^2/\text{dia}$  encontrado anteriormente com os valores observados, nessa figura, é possível notar certa diferença. Conforme mostra a Figura 9, pode-se supor que a média de radiação é maior do que o valor acima citado proveniente dos dados do INMET. Isso se deve ao fato do *software* utilizar valores de um banco de dados e, além disso, não apresentá-los em um período estipulado, conforme o desejo do usuário, impossibilitando uma análise para os meses de março, abril e maio como apresentado anteriormente. Considerando o menor valor encontrado para efeito de cálculos de dimensionamento do sistema, usou-se, para tanto, o valor de  $0,397 \text{ KWh/m}^2/\text{dia}$  na equação observada adiante. Procedeu-se, dessa forma, pois caso a radiação atinja valores maiores de radiação, espera-se que o sistema fotovoltaico tenha um desempenho ainda mais satisfatório.

Esta radiação, no acumulado do ano passado, como se pode verificar na FIG. 8, mostra conformidade com o mapa apresentado pelo Atlas de Irradiação Solar no Brasil (ANEEL, 2011) apresentado na FIG. 9, em que é possível identificar a região pesquisada.

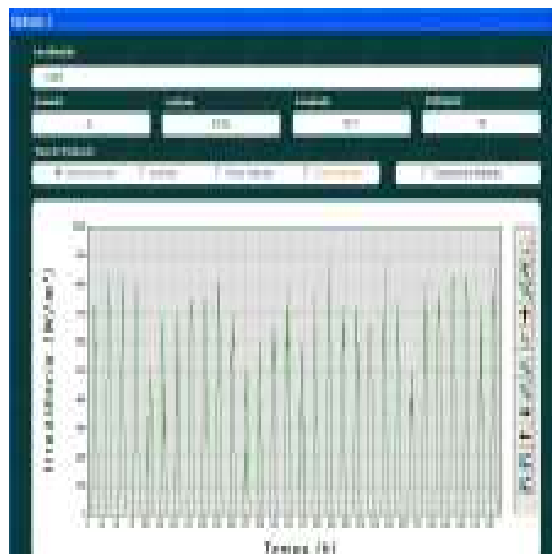


FIGURA 9. Radiação global horizontal horária observada no software radiasol2

FONTE: UFRGS, 2011.



FIGURA 10. Radiação horária observada no software radiasol2

FONTE: UFRGS, 2011.



FIGURA 11. Radiação solar brasileira em  $\text{Wh/m}^2.\text{dia}$  (adaptado)

FONTE: ANEEL, 2011.

O conhecimento acerca da disponibilidade solar do povoado era necessário para que houvesse condições de se iniciar o levantamento de um sistema que atendesse aos consumidores da região, levando-se em conta o seu consumo.

Como visto anteriormente, os eletrodomésticos básicos, as lâmpadas e, em alguns casos o chuveiro, são as cargas mais comuns entre os moradores, o que totaliza um consumo mensal médio de 28 kWh. Para o dimensionamento do sistema fotovoltaico, considerou-se um consumo diário de 0,933 kWh para cada residência.

Com o valor médio da radiação obtido em  $\text{Wh/m}^2/\text{dia}$ , foi efetuado o cálculo da potência necessária para atender à demanda de uma edificação (UFSC, 2004).

$$\text{Pcc} = (E / \text{Gpoa}) / R$$

Onde:

Pcc = Potencia média necessária (KWpcc);

E = Consumo médio diário durante o ano (kWh/dia);

Gpoa = Média mensal do total diário ( $\text{KWh/m}^2/\text{dia}$ );

R = Rendimento do sistema (%).

O resultado encontrado foi de 2,618 KWpcc, considerando um rendimento de 90% (este rendimento está relacionado com o equipamento inversor utilizado). Posteriormente, é possível calcular a área necessária para instalação dos módulos solares, conforme se segue:

$$\text{Atotal} = \text{Pcc} / \text{Eff}$$

Onde:

$$\text{Atotal} = \text{Área dos painéis (m}^2\text{)};$$

Pcc = Potencia média necessária (KWpcc);

Eff = Eficiência do painel (%).

A área total necessária para instalação dos painéis seria de 17,5  $\text{m}^2$ . Conforme dados técnicos apresentados pela empresa multinacional Kyocera, painéis com eficiência de 16% são considerados como equipamentos de alta eficiência e este foi o valor aplicado no cálculo.

De posse destes valores, foi realizada uma consulta aos dados técnicos e comerciais para um sistema que pudesse atender a esta demanda com a possibilidade de interconexão à rede básica. A FIG. 12 apresenta os valores referentes ao mês de maio de 2011 de uma empresa deste seguimento.

Gerador solar fotovoltaico Solenerg para conexão à rede elétrica (220V-60 Hz)										
Modelo Solenerg	Investir		Parâmetros técnicos (1)				Geração de energia (2)			Preço (2)
	Módulo	Potência nominal (W)	Potência nominal (Wp)	Tensão (V)	Corrente (A)	Área ocupada (m²)	Fluxo médio anual (kWh/m²/ano)			Mês 2011
							4,5	5,2	5,5	R\$
GT2.8-2.700	GT2.8	2.800	2.780	354	7,6	21	273	384	384	37.737,07
GT2.8-2.835			2.835	372	7,6	22	287	379	381	38.875,92
GT2.8-2.970			2.970	398	7,6	23	301	394	389	40.414,77
GT2.8-3.105	GT3.8	3.800	3.105	407	7,6	24	315	399	384	41.752,63
GT3.8-4.050			4.050	266	15,3	31	410	495	581	53.275,66

(1) Estimativa baseada em condições normais de irradiação de 4 kWh/m²/mês para fotovoltaico instalado sobre telhado e inclinação adequada considerando uma taxa de desatenuação média (70%). Preço apenas de instalação e outros materiais fotovoltaicos, não incluindo os materiais necessários para a instalação convencional da elétrica incluindo nos custos adicionais: instalação de estrutura independente 20% de Instalação solar média anual no plano de instalação de painéis fotovoltaicos dependentes da região de instalação. Fluxos de médio e longo prazo podem variar no tempo. A eficiência média fotovoltaica pode variar entre 4-6%.

FIGURA 12. Dados técnicos de Geradores Solares Solenerg

FONTE: SOLENERG, 2011.

É importante lembrar que no sistema descrito anteriormente, o custo não contempla as baterias para armazenamento de energia nem o controlador de cargas, elementos comuns e necessários em aplicações fotovoltaicas.

Desta forma, com base nas informações adquiridas, podem-se inferir algumas considerações para aplicação fotovoltaica na região:

A geração individual para consumo próprio, usando-se o modelo GT2.8-2700 atenderia o consumo diário das residências, mas o custo relacionado torna o investimento inviável. Considerando o valor de R\$10,00 mensais, pagos pelos usuários residenciais por energia da rede convencional, seriam necessários inimagináveis 314 anos para que o retorno fosse percebido.

A aplicação fotovoltaica, nessa região, poderia ter um retorno positivo para a população, caso esta adotasse definitivamente meios para aquecimento de água ao invés do chuveiro, o que levaria a uma redução do consumo e, conseqüentemente, à redução da capacidade do sistema proposto inicialmente, o que está diretamente relacionado ao custo. Seria importante também que eles se organizassem em cooperativa de forma a reduzir o custo de aquisição dos conjuntos de geradores e, se

possível, que utilizassem dispositivo coletivo de interconexão à rede.

Todos os valores aplicados nos cálculos, nessa etapa do trabalho, em que foi realizada a análise do potencial solar da região, restringem-se aos consumidores residenciais, uma vez que, para atividades de agronegócios, o interesse foi de aproveitamento de subprodutos para geração de energia elétrica.

## 10 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo evidenciou a importância das tecnologias aplicadas às fontes de energias renováveis no desenvolvimento da matriz energética brasileira.

O desenvolvimento de tecnologias nacionais, principalmente fotovoltaica, é de suma importância para que o custo seja reduzido e possa trazer a possibilidade de que este novo conceito de geração seja definitivamente incluído no cenário nacional.

Para o caso proposto, da comunidade de Água Limpa (MG), apenas a aplicação eólica se mostrou inviável tecnicamente, conforme valores encontrados para a velocidade do vento. O uso da tecnologia solar fotovoltaica mostrou-se inviável também devido ao fator econômico (custo dos módulos). Para o uso da biomassa, através do biogás, o cenário é mais favorável, tanto técnica, quanto economicamente. A geração de energia, através de biomassa, por combustão direta, é menos atrativa considerando fatores técnicos.

Muito além dos fatores técnicos e econômicos, a pesquisa se mostrou pertinente, pois retratou o potencial de geração de energia renovável de

uma comunidade próxima à capital do segundo Estado mais populoso do Brasil (IBGE, 2010).

As características levantadas sobre os moradores e empreendimentos desta localidade também são muito diferentes das encontradas nas regiões Norte e Nordeste, onde essas fontes de energia são mais utilizadas.

Na comunidade de Água Limpa (MG), a maioria das pessoas dispõem de energia elétrica, o que causa certo comodismo em relação a este serviço.

Em todo este estudo, buscou-se considerar que a geração de energia elétrica seria destinada tanto para consumo próprio, quanto para possível fornecimento do excedente à rede de distribuição.

Apesar de todos os entraves e fatores que possam dificultar este processo, para o caso da comunidade de Água Limpa (MG), o aumento da capacidade energética seria muito

importante, pois poderia trazer desenvolvimento social, econômico e cultural; uma vez que proporcionaria crescimento das atividades empresariais, de subsistência e até mesmo do ecoturismo, atividade praticada na região.

É importante que pequenas atitudes sejam tomadas em favor da aplicação de fontes renováveis para geração de energia. Só assim será possível traçar metas de maior amplitude no país de forma a ampliar o uso destas técnicas e aumentar a disponibilidade deste bem que é indispensável ao crescimento do Brasil.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a todas as pessoas que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho, em especial, à Sra. Elza, aos senhores Oswaldo, Reinaldo, Anselmo e Ayres e à Secretaria Municipal de Saúde de Caeté.

---

## REFERÊNCIAS

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica. **Energia Solar 3**. Obtido em [http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia\\_Solar\(3\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/03-Energia_Solar(3).pdf). Acesso em Junho de 2011.

BONA, F. S. **As Microturbinas e a Geração Distribuída**. Projeto de Mestrado, Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação da Unicamp (FEEC/UNICAMP), 2004.

IBGE - CENSO, 2010 - [http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/populacao\\_por\\_municipio.shtm](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/populacao_por_municipio.shtm) acesso em: mar. 2011.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia <http://www.inmet.gov.br> acesso em: jun. 2011.

KYOCERA - **Módulo Policristalino de Alta Eficiência** Obtido em [www.kyocera.com.br](http://www.kyocera.com.br), acesso em 03/06/11.

MELLO, M. G. **Biomassa: Energia dos Trópicos em Minas Gerais**. Belo Horizonte: LabMídia/FAFICH, 2001.

PALZ, Wolfgang; **Energia Solar e Fontes Alternativas**. Curitiba: Hemus Editora, 2002.

PARENTE V. G. **Proposta de criação do pequeno produtor de energia elétrica - PPE, para o atendimento de comunidades isoladas**. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia de Energia, Universidade Federal de Itajubá, Fev. 2008.

PIZZALI, L. F. O. **Desempenho de Redes de Distribuição com Geradores Distribuídos**.



Tese de Doutorado, Engenharia Elétrica, Universidade Estadual Paulista, 2006.

SILVA, C. H. F.; Alternativas Energéticas - CEMIG / SAE BRASIL. **Superintendência de Tecnologia e Alternativas Energéticas e Gerência de Alternativas Energéticas, 2010.** Obtido em [www.cemig.com.br](http://www.cemig.com.br), acesso em: 5 set. 2010.

SOLENERG - Solenerg Engenharia e Comércio Ltda. **Gerador Solar Fotovoltaico Solenerg para conexão à rede elétrica.** Dados técnicos e comerciais. 2011. Obtido em [www.solenerg.com.br](http://www.solenerg.com.br), acesso em 06/06/11. [TGM,2011] Obtido em <http://www.grupotgm.com.br/home/index.php> acesso em: mar. 2011.

UFRGS - Laboratório de Energia Solar. Software: **Radiasol2.** Obtido em <http://www.solar.ufrgs.br/>, acesso e download em: 6 jun. 2011.

UFSC - CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Pré-dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de Caso do edifício Sede do CREA-SC.** Obtido em [http://www.lepten.ufsc.br/publicacoessolareventos2004Entac04marinoski\\_salamoni.pdf](http://www.lepten.ufsc.br/publicacoessolareventos2004Entac04marinoski_salamoni.pdf), acesso em: maio 2011.

## ANEXOS

### ANEXO 1

#### QUESTIONÁRIO DE CARACTERÍSTICAS DO POVOADO

Região pesquisada: Comunidade de Água Limpa - Caeté/ MG

Distância de capital do estado			
Extensão da região			
População			
Principal atividade Econômica			
Agricultura	( )	Pecuária	( )
Extrativismo vegetal	( )	Comércio varejista	( )
Garimpo	( )	Pesca	( )
Outras:			
Cargas residências utilizadas			
Máquinas de lavar	( )	Lâmpadas	( )
Chuveiro	( )	Ventiladores	( )
Outros	( )	Ferro elétrico	( )
Liquidificadores	( )	TV com parabólica	( )
Geladeiras	( )	Aparelho de som	( )
Freezer	( )		
Uso coletivo da energia			
Escola	( )	Posto de Saúde	( )
Associação	( )	Telecomunicações	( )
Cooperativa	( )	Igreja	( )
Abastecimento água	( )		
Cargas Industriais utilizadas			
Serraria	( )	Comércio	( )
Armazém	( )	Outras	( )
Características dos moradores			
Idade	Sexo		
Grau de instrução	masculino ( )	feminino ( )	
Tem acesso a telefonia fixa	( )	Possui telefone celular	( )
Criação de animais	( )		
Fontes renováveis são aproveitadas para geração de energia elétrica			
Biomassa	( )	Eólica	( )
PCH	( )	Solar	( )

### ANEXO 2

#### QUESTIONÁRIO PARA O SETOR DE AGRONEGÓCIO

Região pesquisada: Comunidade de Água Limpa - Caeté/ MG

Nome do empreendimento:	
Tipo de atividade:	
Capacidade Produtiva:	
Tipo de máquinas e equipamentos utilizados:	
O produto atende o mercado externo? (outras cidades e/ou estado)	
Insumos ou resíduos gerados na produção:	
Subprodutos gerados: (quais e como são comercializados)	
Previsão de aumento de produção:	
Demanda de aumento de consumo de energia?	
Existem falhas frequentes do sistema elétrico?	
Qual a quantidade destes insumos?	
Características do sistema elétrico	
Tensão:	
Rede: (fases)	
Custo da energia elétrica:	
Potência:	

## ANEXO 3

## QUESTIONÁRIO PARA A CONCESSIONÁRIA DE ENERGIA – CEMIG

Região pesquisada: Comunidade de Água Limpa – Casté/ MG

Características técnicas linha de transmissão (tensão, potência instalada, etc.):
Subestação que atende a comunidade:
Potência Consumida:
Transformador de distribuição que atende a comunidade:
Tipos de postes (madeira, alvenaria, etc.):
Capacidade instalada total (kW):
Tensão de distribuição (VCA):
Rede (fases):
Carga instalada total (kW):
Composição de carga de serviço público (tipos de lâmpadas para iluminação pública):
Composição da carga residencial (tipos de eletrodomésticos):
Frequência de falhas no atendimento:
Tempo estimado para correção de falha:
Previsão de aumento de demanda:
Custo do kWh:
Custo estimado da instalação da infra-estrutura de eletrificação da região:
Existem projetos de utilização de recursos energéticos da região para geração de energia elétrica?