

A TRANSDISCIPLINARIDADE DO TRABALHO ACADÊMICO INTEGRADOR DO CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA DA PUC MINAS - SUPRIMENTO ENERGÉTICO DA BACIA DO RIO PIRACICABA

Henrique Fiche Ferreira Gonçalves – henrique@fiche.com.br

Igor Toussaint Marcelino Moreira – igortoussaint@gmail.com

Izabella Zschaber Sampaio – izabella.zschaber@gmail.com

Leonardo Soave Piazzzi –leonardo.piazzzi@sga.pucminas.br

Lucas Bacha Pereira Horta – lucasbph@gmail.com

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Curso Engenharia de Energia, 3º período

Avenida Dom José Gaspar, 500 – Coração Eucarístico

30535-610 – Belo Horizonte – Minas Gerais

Luis Guilherme Monteiro Oliveira – luis.monteiro@pucminas.br

Ângela Menin – angelamenin@pucminas.br

Nilo Gomes – nilo@pucminas.br

Otávio de Avelar Esteves – otavio@pucminas.br

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Departamento Engenharia de Energia

Avenida Dom José Gaspar, 500 – Coração Eucarístico – Prédio 3

30535-610 – Belo Horizonte – Minas Gerais

Resumo: *Nos dias atuais, existe um problema crucial para humanidade que é a exagerada compartimentalização do conhecimento. É neste cenário que a disciplina Trabalho Acadêmico Integrador (TAI) do Curso de Engenharia de Energia da PUC Minas visa articular conteúdos inseparáveis no ensino da engenharia, tendo como objetivo constituir um espaço para a articulação, a contextualização e a significação dos conteúdos estudados. O presente trabalho aborda a disciplina TAI III, ministrada no 3º período e inserida no 2º Ciclo denominado de Constituição do Objeto da Engenharia de Energia, que é voltada ao suprimento energético de uma região, denominada “Ilha”, para a qual se buscam alternativas de suprimento energético, com o foco nas respectivas tecnologias. Durante o primeiro semestre de 2011, foi desenvolvido em grupo o levantamento de dados, definição da região de suprimento energético, estudo de crescimento populacional e demanda energética e levantamento de recursos primários; escolha das tecnologias de geração de energia elétrica e térmica, estudo e detalhamento das tecnologias; dimensionamento energético, projeções de crescimento da demanda e abastecimento energético. Com a elaboração deste trabalho foi possível integrar os conteúdos ministrados nas matérias do 3º período (Física III, Fundamentos da Produção de Biocombustíveis, Cálculo IV, Potência e Energia Elétrica, Seminários III, Técnicas de Representação Gráfica, Trabalho Acadêmico Integrador III Teórico e Prático), e em matérias anteriormente cursadas, destacando que a formação acadêmica do engenheiro de energia será um profissional detentor de uma capacitação abrangente e sistêmica na área, tratando-se de um profissional capaz de transitar entre tecnologias relacionadas à energia.*

Palavras-chave: *Transdisciplinaridade, Engenharia de Energia, Trabalho Acadêmico Integrador, Bacia do Rio Piracicaba, Suprimento Energético.*

1 INTRODUÇÃO

Nos dias atuais, existe um problema crucial para humanidade que é a exagerada compartimentalização do conhecimento, fato que naturalmente se multiplica dividindo e subdividindo cada vez mais, formando especializações cada vez de áreas menores (LEMOS, 2006).

O “atomismo” da abordagem cartesiana já não dá conta de importantes temas emergentes, que, devido à sua complexidade intrínseca, não são devidamente incorporados. Começam a surgir, no meio científico, terminologias que decorrem da busca de alternativas para superar tal barreira, como são os casos de: abordagem integradora; visão sistêmica; multi, inter e transdisciplinaridade (ESTEVES, 2011). Portanto, a maioria dos aspectos das demandas hoje colocadas para o novo perfil do engenheiro não são tratadas adequadamente pelos fragmentados perfis de formação tradicional da área.

A educação e a pesquisa devem ser transdisciplinares, por utilizarem ferramentas, técnicas e métodos de diferentes disciplinas. Nesse sentido a Universidade passa a ser vista como o lugar de ideias e não como o lugar onde estão organizadas as disciplinas acadêmicas, que são manifestações do reducionismo, que por se desenvolverem circunscritas aos seus próprios limites, tendem a minimizar as interações com o universo de outras áreas (ERTAS, 2003).

É neste cenário que a disciplina Trabalho Acadêmico Integrador (TAI) do Curso de Engenharia de Energia da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas) visa articular conteúdos inseparáveis no ensino da engenharia. Tendo como objetivo constituir um espaço para a articulação, a contextualização e a significação dos conteúdos estudados nas disciplinas, abordando aspectos relacionados à formação tecnológica, à pesquisa científica, à extensão, à segurança do trabalho, ao meio ambiente, às questões sociais, aos valores humanos e éticos e de Ciência, Tecnologia e Sociedade. E ainda propiciar a oportunidade para o aprofundamento e a consolidação de conteúdos tratados em disciplinas anteriores (ESTEVES, 2011).

O presente trabalho aborda a disciplina TAI III, ministrada no 3º período e inserida no 2º Ciclo denominado de Constituição do Objeto da Engenharia de Energia, que é voltada ao suprimento energético de uma região, denominada “Ilha” para a qual se buscam alternativas de suprimento energético, com o foco nas respectivas tecnologias. Este trabalho foi realizado em grupo (sobre a orientação de diversos professores), sendo concebido e desenvolvido de forma que seus objetivos sejam sempre mantidos como foco da disciplina, ou seja, integrar multidisciplinarmente os conteúdos oferecidos nesse período e anteriores, sendo, assim, dimensionamentos de equipamentos térmicos e elétricos, modelagem de fenômenos físicos, químicos ou de qualquer outra natureza, envolvendo equações diferenciais ordinárias, aplicação de técnicas de representação gráfica, aplicação da 1ª e 2ª Lei da Termodinâmica, ciclos e aplicação de ferramentas computacionais (Matlab, AutoCad e outros softwares) foram integrados e aplicados ao longo do desenvolvimento da região (ilha) escolhida pelo grupo.

2 METODOLOGIA (DIRETRIZES DO PROJETO)

Durante o primeiro semestre de 2011, foi desenvolvido o TAI III, sendo este dividido em três etapas:

Etapa 1: Levantamento de dados, definição da região de suprimento energético (ilha), estudo de crescimento populacional e demanda energética e levantamento de recursos primários;

Etapa 2: Escolha das tecnologias de geração de energia elétrica e térmica, estudo e detalhamento das tecnologias;

Etapa 3: Dimensionamento energético, projeções de crescimento da demanda e abastecimento energético.

Estas três etapas foram determinantes do cronograma trabalhado, sendo a base do projeto como um todo.

2.1 Etapa 1 - Definição da região (Ilha)

Foram pesquisadas as bacias hidrográficas de Minas Gerais a fim de se decidir a microrregião a ser trabalhada. Dentre estas bacias, foi escolhida aquela com maior diversidade de municípios (pequenos, médios e grandes), menor área, presença de indústrias e proximidade a Belo Horizonte, de forma a facilitar o acesso à região. Com base nestas premissas, foi escolhida a Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba.

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba possui uma população estimada de 800.000 habitantes e uma área de drenagem de 6.000 km², abrangendo 21 municípios mineiros. Localizada na Bacia do Médio Rio Doce, a Bacia do Rio Piracicaba (Figura 1) encontra-se na área de influência do Parque Estadual do Rio Doce e possui um conjunto expressivo de atividades econômicas (siderurgia, celulose e mineração de ferro) com alto grau de impacto ambiental, além de expressiva concentração urbana e massivos reflorestamentos por monocultura de eucaliptos para produção de carvão vegetal e celulose (CBH PIRACICABA, 2010).

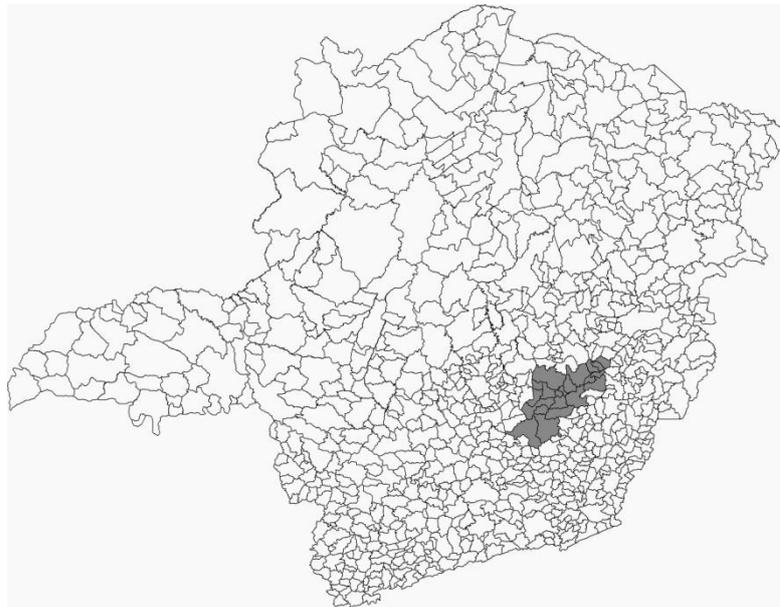


Figura 1 - Municípios, em destaque, da Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba.

Após definida a bacia, foi escolhida a Ilha propriamente dita. A nova metodologia baseou-se em reunir e analisar dados de todos os municípios da bacia, escolhendo, por fim, quatro destes para desenvolvimento do trabalho.

Foram levantados dados da região escolhida sobre: população total, taxa de urbanização, acesso à energia elétrica e coleta de lixo, índice de desenvolvimento humano (IDH), taxa de crescimento e principal vetor econômico. Todos os dados obtidos são provenientes do Atlas de Desenvolvimento Humano do Brasil, software desenvolvido pela Fundação João Pinheiro em parceria com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), além da utilização da base de dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010)

disponibilizada em seu sitio virtual. Estes dados foram analisados por um algoritmo de “pontuações”, desenvolvido pelo grupo no software Excel, o qual a seguia a premissa que: maiores áreas, populações, taxas de urbanização, acesso à rede elétrica e coleta de lixo demonstram maior demanda energética e produção de biomassa (lixo). Enquanto um alto IDH, representa uma melhor infraestrutura, uma taxa de crescimento elevada refletiria em uma alta demanda energética futura, enquanto a presença do setor industrial no município também representaria uma alta demanda energética.

Após realizada a análise em Excel, os municípios que obtiveram a maior pontuação foram Itabira, Mariana, Ouro Preto, Santa Bárbara, Barão de Cocais e Ipatinga. Em seguida realizou-se um estudo e análise de posição geográfica, a fim de escolher municípios vizinhos, sendo assim definidos os quatro municípios bases da Ilha, ou seja, as cidades de Barão de Cocais, Mariana, Ouro Preto e Santa Bárbara localizadas no quadrilátero ferrífero de Minas Gerais.

Estudo de Crescimento Populacional e Demanda Energética

Para planejar o abastecimento energético da Ilha foram realizados estudos de crescimento populacional e demanda energética, de forma a possibilitar o abastecimento energético da Ilha em um horizonte de cinco anos (entre 2011 a 2016). Foram então obtidos dados de consumo de energia elétrica da Ilha através do sitio virtual da Assembléia Legislativa de Minas Gerais (ALMG ano base 1999 - 2003), e assim, foi desenvolvido um programa em MATLAB que, através de equações diferenciais e do método de *Crescimento Logístico*, simula o crescimento energético e populacional com um limite, com base nos dados de energia consumida e população total fornecidos. Ao final deste estudo, analisaram-se os resultados obtidos, concluindo que população e energia crescem de forma diferente conforme mostra a Figura 2.

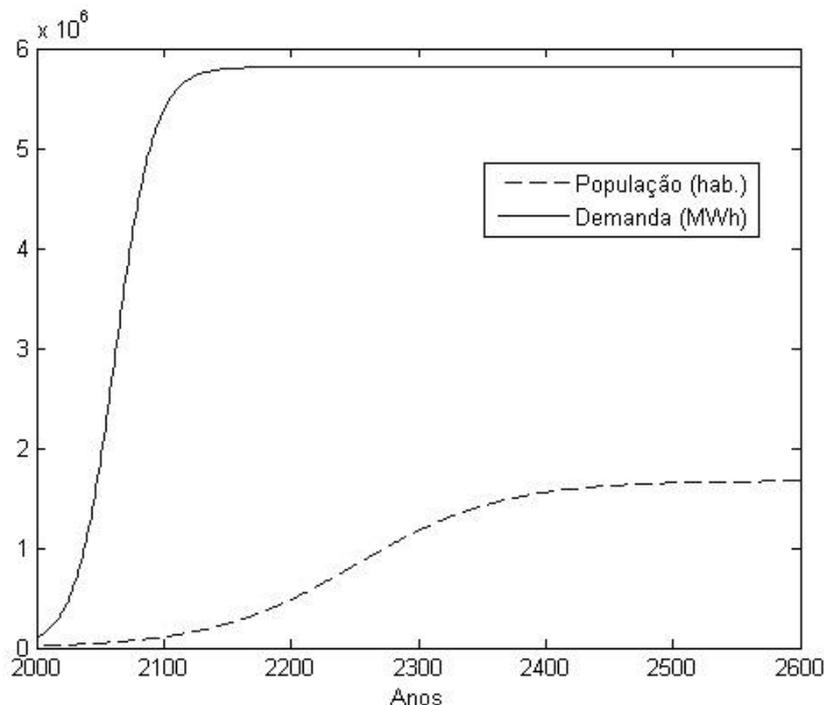


Figura 2 – Gráfico comparativo: demanda de energia e crescimento populacional.

O estudo de crescimento populacional se mostrou plausível. Entretanto, a demanda energética, não poderia ser calculada desta forma, à medida que, segundo a Figura 2, a mesma tende a se estabilizar enquanto a população ainda cresce. Isso foi devido ao fato de que este

método se atém aos desatualizados dados da ALMG, não levando em consideração as demais variáveis que influenciam na demanda, como desenvolvimentos tecnológicos, novas indústrias, etc.

Sendo assim, houve necessidade da realização de um novo método para estimar a demanda energética. Este consistiu em um estudo de cargas teórico, levando em consideração indústrias, iluminação pública, comércio e residências. Cada tipo de carga foi estudado separadamente, levando em conta sua potência instalada e a correção do fator de potência quando necessário. As cargas foram inseridas no software “Eletronic Workbench” (EWB) e foram determinados os horários de ponta, sendo então realizado o dimensionamento dos empreendimentos para produção de energia elétrica a partir deste novo estudo conforme mostra a Figura 3.

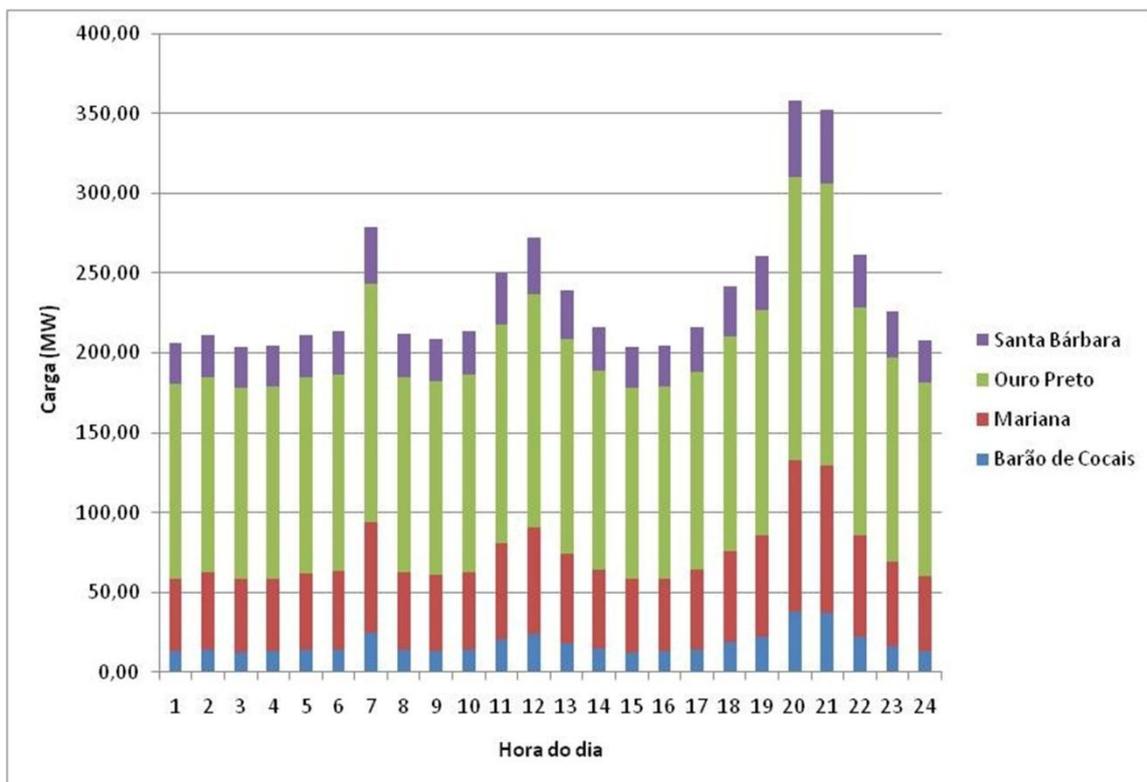


Figura 3 - Curva de carga da região escolhida (Ilha).

Levantamento de Recursos Primários

Para subsidiar a definição da tecnologia de geração de energia elétrica, realizou-se o levantamento de recursos primários com dados da Agência Nacional de Águas (ANA), Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), Atlas de Energia Elétrica do Brasil, Atlas de Energia Solar do Brasil, Atlas Eólico de Minas Gerais, Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO) e Instituto Mineiro de Gestão das (IGAM). Os dados encontrados nestas fontes foram analisados, segundo sua abundância, benefícios ambientais e consolidação de tecnologias no Brasil. A fonte hidráulica é abundante na Ilha e sua tecnologia é consolidada no país, enquanto o biogás de aterro vem de uma fonte desperdiçada (lixo urbano) na ilha e demonstra grandes benefícios ambientais ao não emitir gás metano na atmosfera. Desta forma, decidiu-se pela utilização das fontes hidráulica e biogás de aterro.

2.2 Etapa 2 - Definição de Tecnologias

Na segunda etapa do trabalho, foram estudadas as tecnologias de geração de energia elétrica e térmica, tendo como base as fontes primárias, logo, optou-se pela combinação de aproveitamentos hidrelétricos (AHEs) e uma usina termelétrica (UTE).

Ainda nesta etapa, foram realizados experimentos de vazão e potência, em laboratórios específicos, o que demonstrou, ao aprendizado do grupo, a confirmação da fórmula de potência em relação à densidade da água, vazão, altura de queda e gravidade. Foi construído, também, um capacitor “didático”, com o intuito de se corrigir o fator de potência das cargas-padrão utilizadas no estudo de cargas da região.

Aproveitamento hidrelétrico

Como não foram obtidos dados de vazão dos rios dos municípios de Santa Bárbara e Barão de Cocais foi pesquisado através do software “Google Earth” os perfis altimétricos dos rios com maior vazão nos municípios de Ouro Preto e Mariana. Em seguida foi desenvolvido um programa em MATLAB que calcula, com base no perfil, as quedas dos rios, e fornece os melhores locais para barramento conforme mostra a Figura 4. Após determinados os locais de barramento (rio Mainart e rio Gualaxo do Sul), foram desenvolvidos plantas altimétricas e cálculos para determinação da capacidade instalada em cada hidrelétrica.

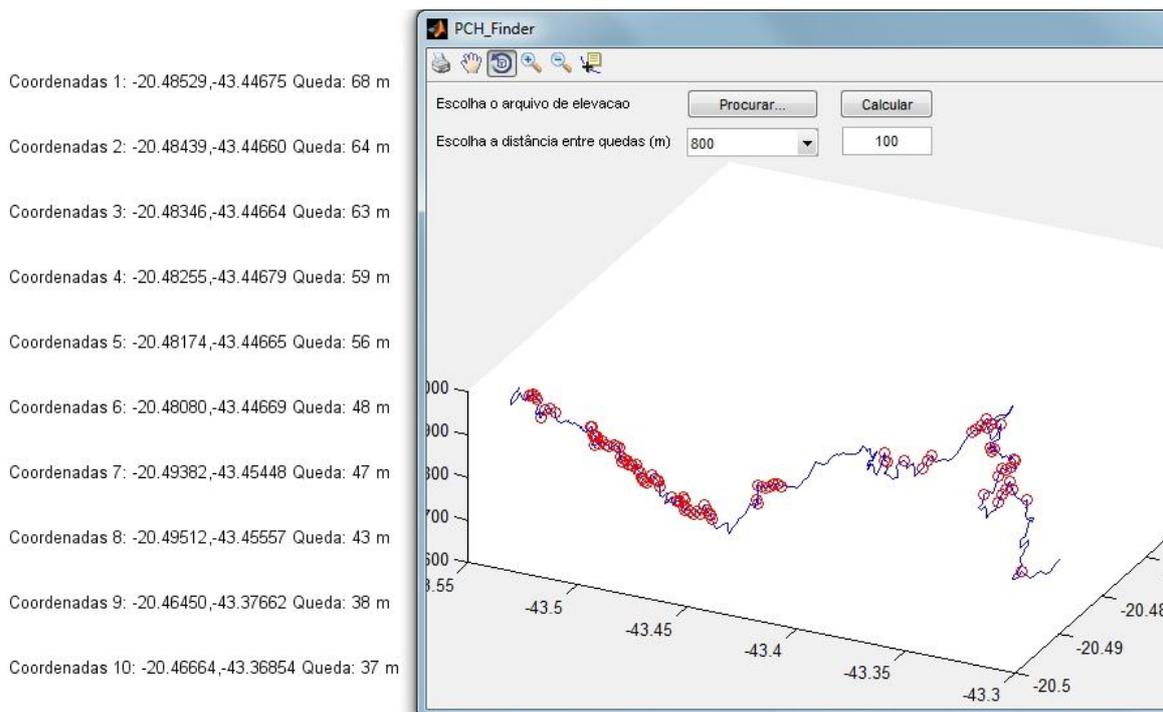


Figura 4 – Ilustração do programa PCH Finder.

Usina termelétrica

Com base nos dados populacionais dos municípios da Ilha, foi estimada a produção de lixo urbano orgânico que poderia ser utilizada para a produção de biogás, sendo assim, propôs-se a instalação de um aterro sanitário conjugado à UTE com a utilização do lixo urbano dos quatro municípios da Ilha. Para a locação do aterro foram pesquisadas áreas planas e centrais em relação aos municípios, de forma a facilitar a logística de recolhimento

do lixo e implantação do aterro. Sendo assim, foi escolhida uma área no município de Catas Altas, que se localiza, no centro da Ilha.

2.3 Etapa 3 - Dimensionamento Energético

Hidrelétricas

Uma vez definidos os pontos de barramento, desenhadas as plantas altimétricas dos AHEs e calculadas suas potências médias, firmes e firmes legais, foram realizados os dimensionamentos conforme mostra a tabela 1.

Tabela 1 – Dimensionamento dos aproveitamentos hidrelétricos da ilha.

Parâmetros	AHE Mainart	AHE Gualaxo do Sul
Coordenadas do Eixo de Barramento	-20.4684, -43.3680	-20.43963 , -43.20108
Coordenadas da Casa de Força	-20.4794, -43.3407	-20.42000, - 43.20345
Cota do barramento	660,0 m	540,0 m
Cota da casa de força	610,0 m	500,0 m
Queda total	50,0 m	40,0 m
Altura do barramento	25,0 m	5,0 m
Comprimento do barramento	29,0 m	30,0 m
Área do reservatório	36,0 ha	27,62 ha
Área da casa de força	1273,0 m ²	755,0 m ²
Volume do reservatório	231,1 x 106 m ³	146,5 x 106 m ³
Comprimento do canal de adução	3,40 km	4,05 km
Comprimento do conduto forçado	150,0 m	226,0 m
Comprimento do Trecho de Vazão Reduzida	3,70 km	3,64 km
Potência média instalada: vazão média	3,70 MW	6,63 MW
Potência firme instalada: vazão mínima	2,20 MW	4,13 MW
Energia média	29.748 MWh/ano	53.305 MWh/ano
Energia firme	17.668 MWh/ano	33.205 MWh/ano

No empreendimento do Rio Mainart serão utilizadas 3 turbinas da marca Hacker tipo Francis, rotor duplo, eixo horizontal, modelo FH70D e seus agregados com potência unitária de 1.000 kW e potência total de 3.000 kW, e rendimento de 85%.

Termelétrica

A termelétrica teve sua potência definida como a potência que os AHEs não supririam nos horários de ponta, logo, esta deveria ter potência de 351,3 MW.

A fonte primária da Termelétrica seria, a princípio, o biogás de aterro. Calculado seu PCI e a quantidade de lixo orgânico dispensado teve-se, no entanto, que apenas o biogás de aterro não seria o suficiente para atender a demanda de energia necessária da ilha. Sendo assim optou-se por complementar com gás natural.

O maquinário escolhido na termelétrica foi baseado no preceito que a usina deveria atender todos os horários, incluindo os de potência mais baixa do que horário de ponta. Desta forma, decidiu-se trabalhar com seis ciclos de Rankine, que poderiam trabalhar

alternadamente nos horários de baixa potência ou em conjunto nos horários de ponta. Foram escolhidas seis turbinas iguais, com 65 MW cada, mais que a potência atual demandada a fim de oferecer seguro caso as AHEs enfrentem dificuldades técnicas. A escolha do ciclo de Rankine deve-se a restrições de estudo que serão sanadas apenas para o próximo semestre onde o projeto terá continuidade na disciplina TAI IV.

3 CONCLUSÕES

A energia proveniente de hidrelétricas possui um baixo custo imediato, pois não necessita da compra de combustíveis para seu funcionamento. Nos períodos de secas, no entanto, a energia hidráulica se torna cara, tornando mais viáveis fontes não dependentes da água. As termelétricas possuem alto custo imediato, entretanto nos períodos de secas, torna-se viável a utilização da energia térmica.

Especificamente no caso da Ilha trabalhada, constatou-se que a geração de energia elétrica através das usinas hidrelétricas seria insuficiente para abastecimento energético da ilha, sendo necessária a complementação da matriz através da usina termelétrica.

Este fato se deve possivelmente às usinas hidráulicas possuírem mais fatores limitantes de projeto, tais como disponibilidade hídrica, clima, altura da queda, etc, enquanto as térmicas dependem basicamente da disponibilidade de combustível.

Conclui-se que as tecnologias aqui abordadas se complementam, fazendo com que as termelétricas sirvam como seguro energético e hidrológico, pois garantem a energia elétrica em tempos de secas, ou também podem ser utilizadas como forma de suprir deficiências conjunturais ou de estrutura dos sistemas elétricos.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No terceiro período do curso de Engenharia de Energia da PUC Minas foram ministradas oito disciplinas, sendo estas, Física III, Fundamentos da Produção de Biocombustíveis, Cálculo IV, Potência e Energia Elétrica, Seminários III, Técnicas de Representação Gráfica, Trabalho Acadêmico Integrador III (Teórico) e Trabalho Acadêmico III (Prático). Sendo que no desenvolvimento do trabalho em questão é possível observar a presença e integração de todos os conteúdos ministrados nestas matérias, e ainda, em matérias anteriormente cursadas, como Técnicas de Programação, Cálculo I e II, entre outras.

Sendo assim a formação acadêmica do engenheiro de energia será um profissional detentor de uma capacitação abrangente e sistêmica na área, não substituindo, em absoluto, as especialidades existentes (ESTEVEZ, 2011).

Trata-se evidentemente de um profissional da área da engenharia que saiba transitar entre tecnologias relacionadas à energia, hoje dispersas em variadas modalidades da engenharia: elétrica, química, mecânica, nuclear, etc (ESTEVEZ, 2011).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMG. Dados municipais da Assembleia Legislativa do Estado de Minas Gerais. **Base de Dados**, 2011. Disponível em: <<http://www.almg.gov.br/index.asp?grupo=estado&diretorio=munmg&arquivo=municipios>>. Acesso em 20 fev. 2011.

CBH Piracicaba. Informações gerais sobre a Bacia do Rio Piracicaba. 2011. Disponível em <http://www.cbhpiracicaba.org.br/mat_vis.aspx?cd=6500>. Acesso em 20 fev. 2011.

ENSINAS, A. V.; BIZ ZO, W. A. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas SP**. Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Engenharia Mecânica. Comissão de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Campinas, 2003.

ERTAS, A.; MAXWELL, T.; RAINEY, V. P.; TANIK, M. M. **Transformation of Higher Education: the Transdisciplinary Approach in Engineering**. IEEE Transactions on Education, v 46, n 2, p 289-295, May 2003.

ESTEVES, O. A. **Projeto Pedagógico do Curso de Graduação em Engenharia de Energia**, 2011. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Belo Horizonte. 198p.

IBGE, 2010. **Banco de Dados do Censo 2010**. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>>. Acesso em 15 fev. 2011.

LE MOS, G. S. Interdisciplinaridade e pensamento complexo: dois caminhos da totalidade perdida. In: II SEMINÁRIO NACIONAL DE FILOSOFIA E EDUCAÇÃO. 2006. Santa Maria/RS. UFSM.

THE TRANSDISCIPLINARITY APPROACH OF THE INTEGRATED ACADEMIC WORK OF THE ENERGY ENGINEERING COURSE OF PUC MINAS - ENERGY SUPPLY OF THE MUNICIPALITIES LOCATED AT THE PIRACICABA WATERSHED

Abstract: *In the Current days, there is a crucial problem for humanity: the exaggerated knowledge compartmentalization. In this context, the Integrated Academic Work III (TAI III) of the Energy Engineering, segment of the college PUC Minas, aims to articulate inseparable subjects in the engineer education, aiming to provide a space for articulation, context and significance of the contents studied. The present study approaches the subject TAI III of the 3rd period and inserted in the 2nd cycle "Constituição do Objeto" of the Energy engineering teaching, which address to the energetic supply in a area, called "Island" that pursue alternative forms of energy supply, with focus on the respective technologies. During the first semester of 2011, it was developed in group the data collection, island definition for energy supply, study of population and energy growth and energy demand, survey of primary resources, selection of energy technologies (electrical and thermal energy), detail technologies study, energy gauge and projections of energy growth and supply. With the elaboration of this project, it was possible to integrate the 3rd period disciplines (Physics III, Fundamentals of Biofuels Production, Calculus IV, Power and Energy, Seminar III, Graphical Design Techniques, Integrated Academic Work III (theory and practice) and subjects studied in previous semesters, it is worth noting that the academic formation of energy engineers, a professional with systematic and comprehensive education in the area, becoming a professional who can transit between different energy-related technologies.*

Key-word: *Transdisciplinarity, energy engineering, integrated academic work, Piracicaba watershed, energy supply.*