

3

Procedimento Experimental - Descrição do Sistema

O sistema de cogeração instalado no ginásio da PUC-Rio está conformado pelos seguintes componentes:

- Microturbina a Gás Natural marca Capstone modelo C30 (Recuperated) LPNG;
- Caldeira de recuperação modelo ITC1;
- Reservatório Térmico (Boiler);
- Adicionalmente uma caixa de água.

Para um melhor entendimento, na descrição da planta de cogeração da PUC-Rio, este capítulo divide-se em três partes, a saber:

- (i) Na primeira parte descreve-se o caminho percorrido do gás natural desde sua entrada à linha de alimentação (estação de medição) até sua entrada à câmara de combustão da microturbina.
- (ii) Na segunda parte descreve-se a forma em que a planta de cogeração, através da microturbina, gera energia elétrica até sua utilização no ginásio da PUC-Rio.
- (iii) Na terceira parte descreve-se a forma em que opera, na planta de cogeração, o sistema de aquecimento de água.

3.1

Utilização do combustível

A linha de alimentação de combustível para a planta de cogeração divide-se em duas partes: uma primeira parte, onde é localizada a estação de medição de gás natural (requerimento para a medição do consumo do gás por parte da CEG) na qual a tubulação é de 1 pol. de diâmetro aproximadamente (Fig. 11) e uma

segunda parte, requerimento da CONUAR e referida como linha PUC na qual a tubulação tem um diâmetro de $\frac{3}{4}$ pol. aproximadamente (Fig. 11).

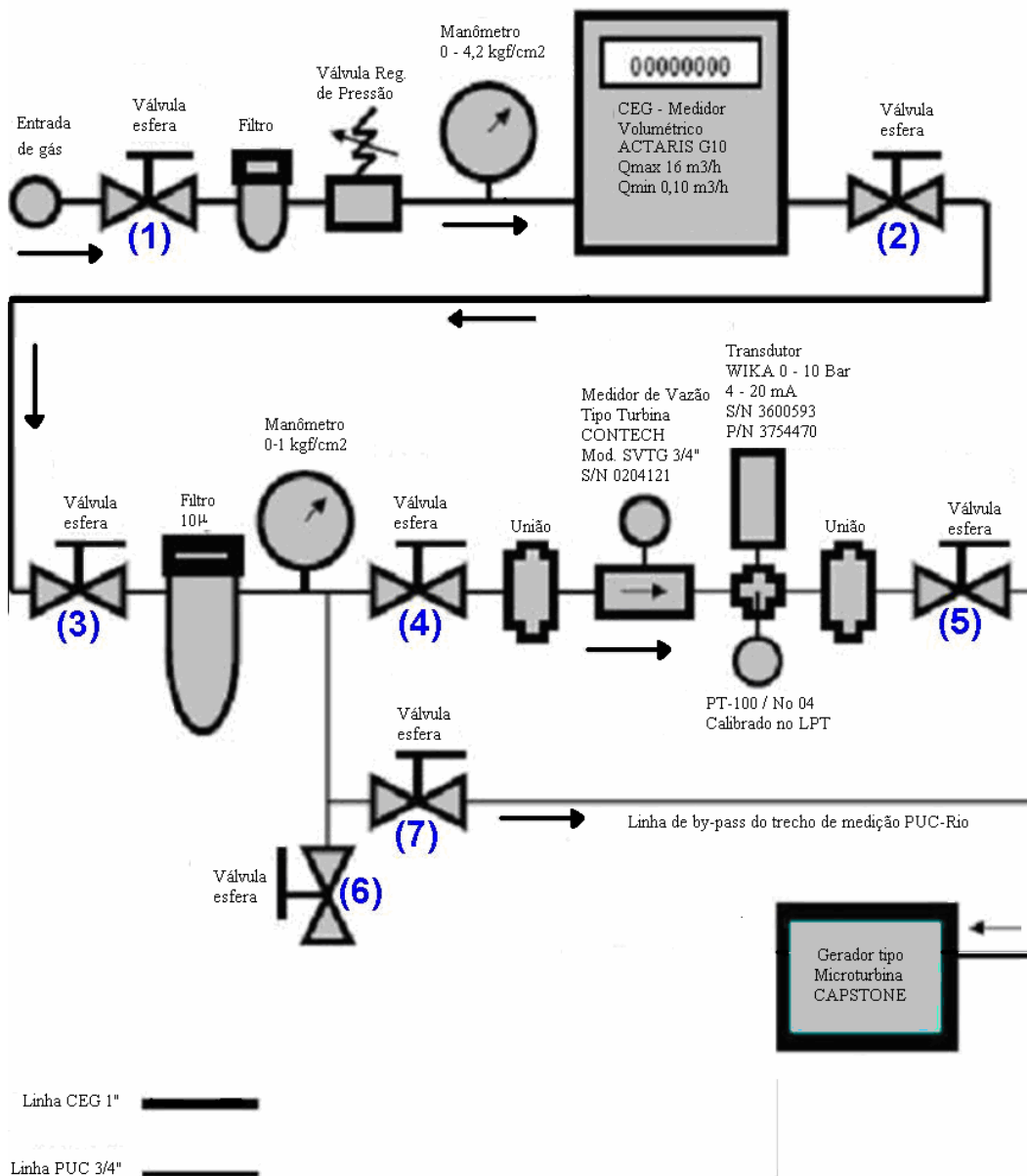


Figura 11 - Linha de alimentação de Gás Natural da planta de cogeração instalada na PUC-Rio.

A entrada do gás natural à linha de alimentação de combustível se dá através da estação de medição mediante a abertura manual da válvula de esfera (1) marca AGA (Fig. 11), posteriormente o combustível é filtrado antes de chegar à válvula reguladora de pressão marca NOVACOMET número CB52373 onde se reduz a pressão da linha externa para a pressão requerida na linha de alimentação de combustível (15 psig). Posteriormente a pressão é verificada através de um

manômetro marca COMAP cuja faixa de operação é de 0 - 4,2 kgf/cm². Para o faturamento do gás consumido, em tarifa de cogeração, a CEG instalou um medidor volumétrico marca ACTARIS G10 cuja faixa de operação é de 0,10 - 16 m³/h para finalmente passar pela válvula de esfera (2) (Fig. 11), a qual pode ser aberta ou fechada manualmente, e dessa forma entrar à segunda parte da linha de alimentação de combustível (referida como linha PUC).

A entrada do gás natural à linha PUC se dá através da válvula de esfera (3) marca TOPGAS (Fig. 11), para logo após ser filtrado num filtro marca PARKER HANNIFIN; um manômetro marca FAMABRAS cuja faixa de operação é de 0 - 1 kgf/cm² verifica a pressão da linha. Neste ponto uma linha de by-pass é adicionada, isto para evitar qualquer circunstância eventual que pudesse inutilizar a linha principal de alimentação do combustível. Continuando com a linha de alimentação principal do combustível, existe uma válvula de esfera (4) marca MIPEL (Fig. 11) e posteriormente o medidor de vazão tipo turbina marca CONTECH modelo SVTG 3/4", número de série 0204121 cuja faixa de operação é de 0 - 3.90 m³/h. Antes de finalizar a linha PUC, o transdutor de pressão marca WIKA número de série 3600593 cuja faixa de operação é de 0 - 10 Bar, verifica a pressão de operação da linha e finalmente a válvula de esfera (5) marca MIPEL (Fig. 11).

Uma vez que o gás natural passa pela válvula de esfera (5) (Fig. 11) o combustível que entra à microturbina é monitorado por um sistema detector de pressão, o qual protege à microturbina de possíveis pressões de vácuo, em caso da existência deste tipo de pressões o sistema desliga automaticamente a microturbina. Cabe destacar que segundo referenciado em [24], a pressão adequada de operação da microturbina Capstone C30 (Recuperated) LPNG é de 34 - 103 kPa (5 - 15 psig); sendo a recomendada 103 kPa (15 psig).

Logo após, continuando com o percurso do gás natural, segundo referenciado em [25], o filtro de proteção na entrada da microturbina unida à válvula elétrica de corte (Shutoff Valve) restringem a passagem das partículas maiores de combustível que poderiam obstruir o sistema; esta válvula tem a finalidade de restringir a passagem de combustível quando no filtro seja detectada uma falha, caso contrário, a válvula mantém a alimentação contínua de combustível durante a operação do sistema.

A seguir, o compressor rotativo (Rotary Flow Compressor - RFC) aumenta a pressão do combustível fornecido de acordo com os requisitos de operação do sistema. O gás comprimido, no compressor rotativo, que se encontra a alta temperatura, é monitorado e resfriado num trocador de calor antes de entrar à Válvula Proporcional Inteligente (Smart Proportional Valve - SPV), esta válvula encarrega-se de fornecer a quantidade devida de combustível ao motor da microturbina.

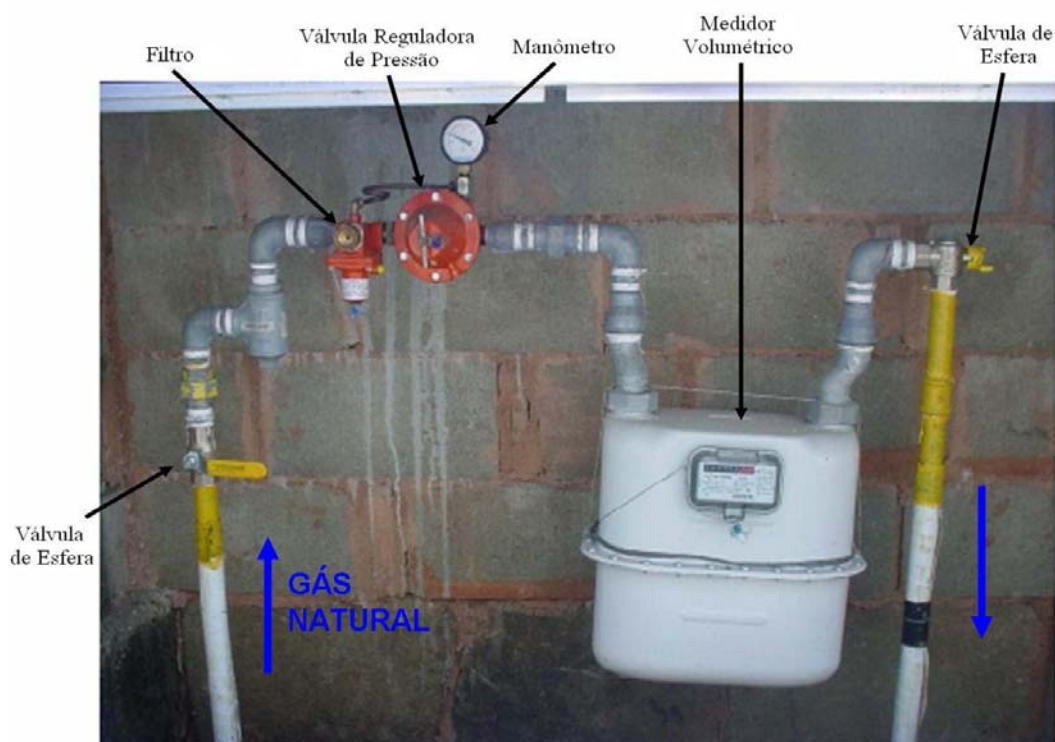


Figura 12 - Estação de medição de Gás Natural da planta de cogeração da PUC-Rio.



Figura 13 - Linha de alimentação de Gás Natural da planta de cogeração instalada na PUC-Rio.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0513368/CA

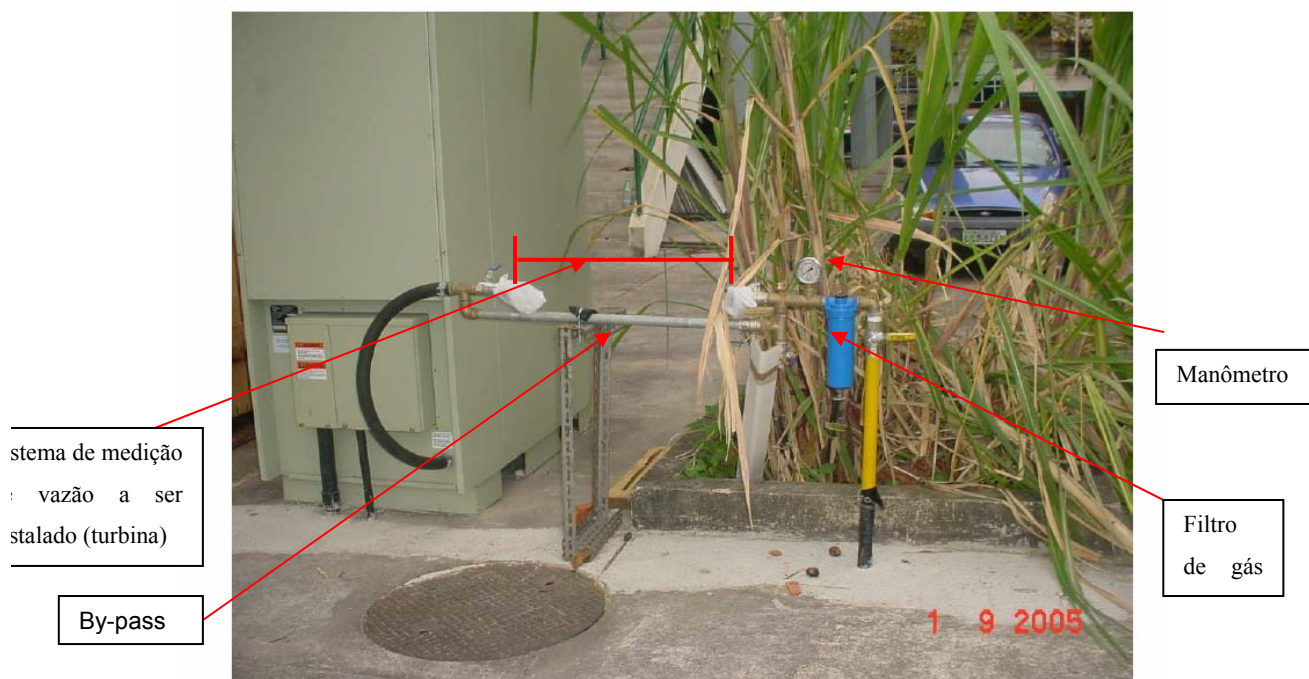


Figura 14 - Sistema de fornecimento de gás natural e medição da microturbina, antes da instalação da medição de vazão.



Figura 15 - Sistema de combustível da microturbina Capstone C30 LPNG (a).

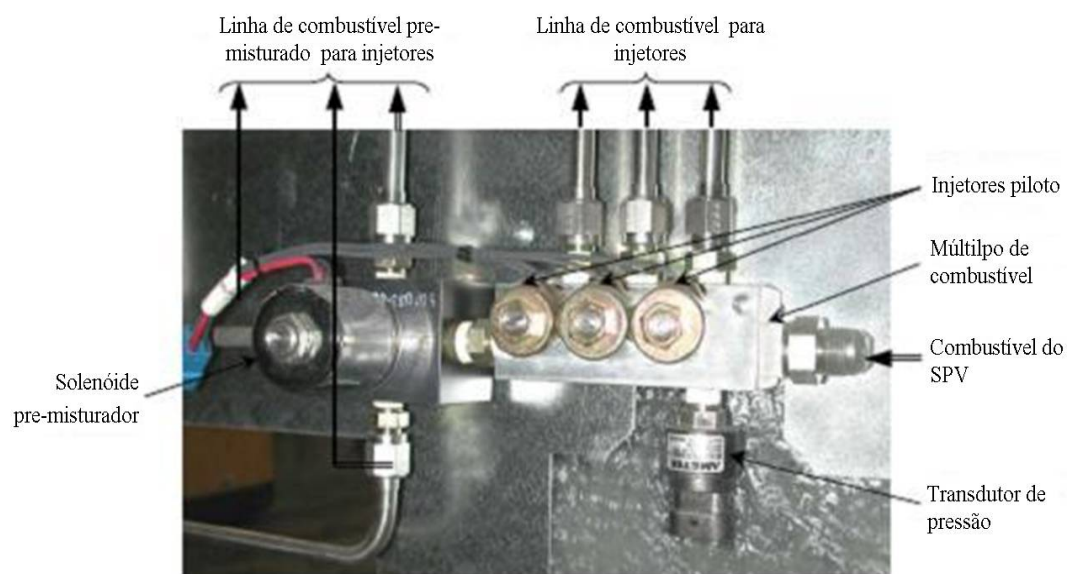


Figura 16 - Sistema de combustível da microturbina Capstone C30 LPNG (b).

Cabe destacar que o intervalo de substituição do compressor rotativo RFC vai depender da pressão de trabalho do combustível na sua entrada [24], como mostrado na Tabela 4.

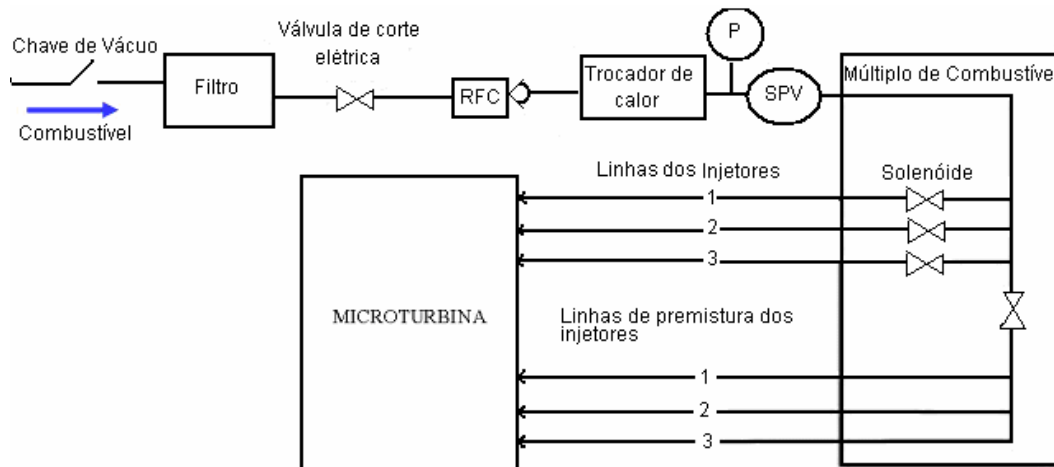
Tabela 4 - Substituição do compressor a diversas pressões do combustível.

PRESSÃO DE ENTRADA	INTERVALO DE SUBSTITUIÇÃO
34 kPa (5 psig)	3000 h
52 kPa (7,5 psig)	5000 h
69 kPa (10 psig)	8000 h
103 kPa (15 psig)	16000 h

No controle do fluxo do combustível a SPV e o RFC trabalham juntos; para níveis de potência baixos, o RFC opera a velocidade constante e a SPV mede o combustível; a altos níveis de potência, a SPV é aberta na máxima posição e o fluxo de combustível é medido por variação da velocidade de rotação do RFC.

Conforme mostrado na Fig. 16, após a SPV, o combustível passa pelo múltiplo de combustível onde, o solenóide elétrico, dirige o combustível aos injetores, para finalmente passar à câmara de combustão onde serão queimados.

Um diagrama de bloco, do sistema de combustível da microturbina Capstone C30, é apresentado na Fig. 17, conforme referenciado em [25].

**Figura 17** - Diagrama de Bloco do funcionamento do sistema de combustível da microturbina Capstone C30 LPNG.

A microturbina utiliza três injetores solenóides pilotos e um único solenóide de pré-mistura para controlar o fluxo de combustível ao seu motor. Cada injetor, como observado na Fig. 18, tem dois pontos de entrada de combustível (do tubo piloto e do tubo da pré-mistura). O combustível do tubo piloto é fornecido diretamente à câmara de combustão, misturando-se com o ar proveniente do

recuperador; o combustível do tubo da pré-mistura utiliza ar do recuperador, através dos misturadores de ar do injetor, antes de entrar à câmara de combustão.



Figura 18 - Injetor de combustível da microturbina Capstone C30 LPNG.

Cabe destacar que, conforme referenciado em [25], a operação do injetor muda para diversos níveis de potência da microturbina, assim para potências:

- Menores que 7 kW, a microturbina opera com um único injetor piloto.
- A partir de 7 até 22 kW, os três injetores estão funcionando.
- Acima de 22 kW, os três pilotos solenóides são ligados, juntamente com o pré-misturador.

3.2

Geração de energia

Na planta de cogeração, a geração de energia elétrica é feita pela microturbina, ela é definida como um pequeno gerador de energia elétrica que utiliza o gás natural [26], o qual é fornecido pela Companhia Distribuidora de Gás Natural do Rio de Janeiro (CEG) a uma pressão máxima de 103 kPa (15 psig).

A microturbina consiste basicamente de um compressor, combustor, turbina, gerador elétrico e recuperador de calor. Todos os componentes, com exceção do recuperador de calor estão montados em um mesmo eixo.



Figura 19 - Microturbina Capstone C30 LPNG.

Uma das principais características da microturbina Capstone C30 LPNG, é que, em carga máxima, o gerador opera a uma rotação nominal de aproximadamente 96000 RPM sem lubrificação, pois possuem mancais a ar. Devido às altas rotações de trabalho, o eixo do gerador está acoplado a um sistema eletrônico digital de potência que lhe permite produzir potência elétrica de alta qualidade [27] e de acordo com as condições requeridas.

O princípio de funcionamento da microturbina é o seguinte: o conjunto turbina - compressor aciona um gerador de ímã permanente que produz uma tensão variada e uma corrente alternada de alta frequência de 1600 Hz (nominais), em carga máxima, logo após, o sistema eletrônico digital de potência (retificador – inversor de frequência) transforma a corrente alternada de alta frequência em corrente contínua e, em seguida, em corrente alternada na frequência da rede de 60 Hz [22, 23, 28, 29]. Na Fig. 20, mostra-se o esquema de funcionamento do sistema eletrônico digital de potência da microturbina.

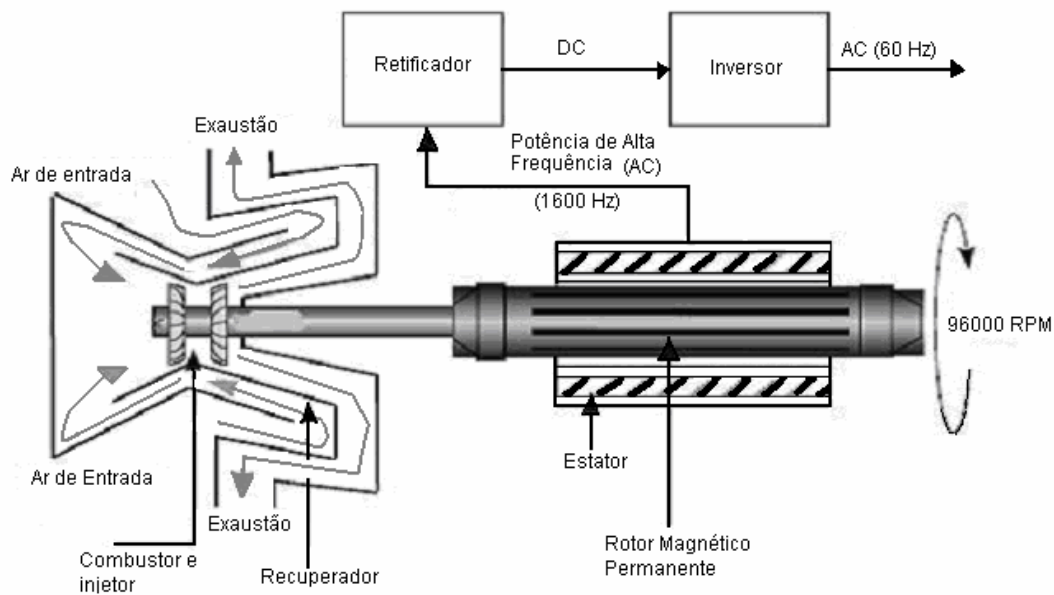


Figura 20 - Esquema de funcionamento do sistema eletrônico de potência da microturbina Capstone C30 LPNG.

O acionamento da microturbina é realizado através de um sistema de acionamento e proteção, o qual se localiza na entrada da rede elétrica da PUC-Rio, conforme mostrado na Fig. 21.



Figura 21 - Sistema de acionamento e proteção da microturbina Capstone C30 LPNG na entrada da rede elétrica da PUC-Rio.

Uma vez acionado o sistema de acionamento e proteção, a microturbina se mantém energizada e aguardando a sua partida (Start Up), sendo que para isso existem duas formas [30], a saber:

1. O usuário pode pôr em partida a microturbina através do painel de controle (Fig. 22) localizada na parte superior desta. No painel de controle, o usuário, pode configurar alguns parâmetros operacionais da microturbina, tais como: potência gerada, regime de operação (Grid Connect ou Stand Alone), etc.
2. O usuário pode, também, pôr em partida a microturbina através da sua interface de comunicação (Fig. 23), por meio de um computador pessoal que é conectado diretamente na interface serial padrão RS - 232 ou mediante a linha telefônica, instalada nela, por médio de um modem.



Figura 22 - Painel de controle da microturbina Capstone C30 LPNG.

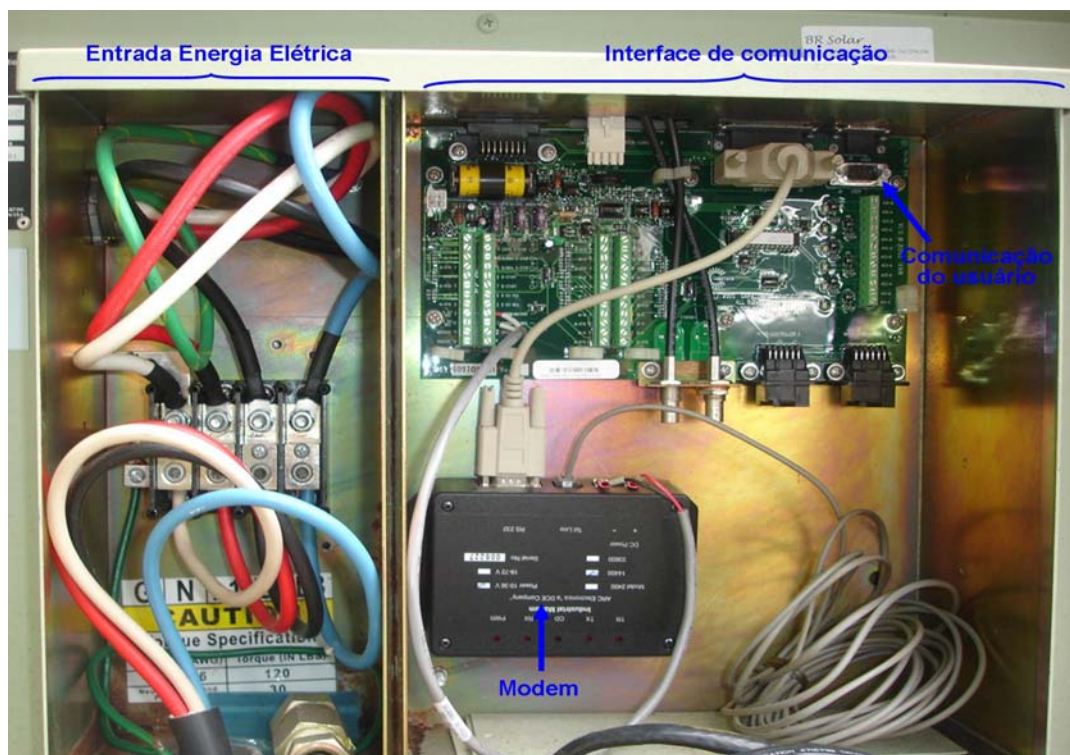


Figura 23 - Interface de comunicação da microturbina Capstone C30 LPNG.

Cabe destacar que, conforme referenciado em [30], quando a comunicação do usuário com a microturbina é através do computador (utilizando a interface de comunicação), o painel de controle somente pode ser utilizado para visualizar os valores de alguns parâmetros da microturbina, tais como potência de saída, regime de operação (Grid Connect ou Stand Alone), etc., não permitindo a operação simultânea da microturbina.

Inicialmente, logo após de realizada a partida da microturbina, o gerador funciona como um motor, já que fornece à microturbina uma velocidade de ignição na qual o combustível é introduzido na câmara de combustão para posteriormente ser queimado; quando a temperatura de saída aumenta a microturbina começa a acelerar até alcançar a carga máxima, tudo isto acontece em aproximadamente dois minutos.

Cabe destacar que, durante a partida da microturbina, o Controlador Digital de Potência (Digital Power Controller – DPC), que é o responsável da conversão de voltagem AC – DC e DC – AC, opera a frequência variável, encarregando-se de fornecer potência ao turbogerador [31].

A microturbina Capstone C30 LPNG, devido ao sistema eletrônico de potência, pode operar em diferentes regimes, sendo o modo de operação em

paralelo com a rede elétrica local (Grid Connect) o realizado na PUC-Rio. Nesta forma de operação a microturbina gera eletricidade sincronizada à mesma tensão e frequência da rede [26, 32].

Quando a microturbina opera em paralelo à rede da concessionária local, ela pode despachar energia de duas formas possíveis, e que são conhecidos como *tempo de uso e seguimento de carga*, além de operar na forma tradicional de *despacho normal*, ou seja, em *carga base* [32]; sendo esta última a forma de operação da microturbina instalada na PUC-Rio. Na Fig. 24 mostra-se, graficamente, como a microturbina pode ser usada em modo de operação normal.

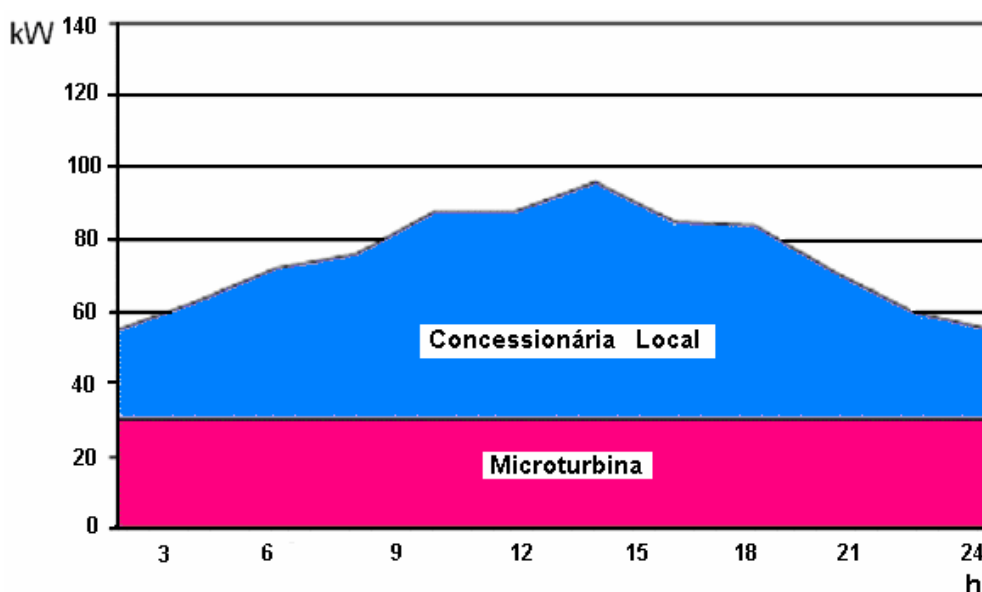


Figura 24 - Modo de operação da microturbina instalada na PUC-Rio (Carga Base).

Na Tabela 5 são apresentadas algumas características elétricas da microturbina Capstone modelo C30, quando operada em paralelo com a rede elétrica local [33]:

Tabela 5 - Características Elétricas da microturbina Capstone modelo C30 operada em paralelo à rede elétrica local.

DESCRIÇÃO	OPERAÇÃO
Faixa de operação (tensão)	360 - 528 VAC (somente 3 fases).
Conexão para a tensão de saída	3 fios elétricos, L1, L2 e L3.
Impedância máxima da rede	$\leq 10\%$ Indutivo, (2 mH). $\leq 5\%$ Resistivo (0,4 ohms). $Z_{base} = 7,67$ ohms linha – neutro.
Defasagem de fase (tensão)	120 (± 1) graus.
Faixa de aquisição da frequência	45 – 65 Hz. Auto-sincronização. A microturbina detecta a forma de onda da rede e se sincroniza em fase e frequência antes de realizar a conexão com a rede elétrica local.
Potência de Saída (Condições ISO)	0 - 28 kW.
Corrente de Saída	46 A RMS, Máximo em regime contínuo.
Harmônico (saída)	Em concordância com IEEE 519, $<5\%$ THD.
Potência requerida da rede para o arranque da microturbina	3,5 kW (pico).
Potência requerida da rede para o resfriamento e desligamento da microturbina	2,8 kW pico. 0,147 kWh, 5 minutos, típico.

Para garantir o paralelismo da microturbina da PUC-Rio com a rede elétrica local (rede de distribuição da LIGHT), foram cumpridos alguns requisitos básicos, que na condição de autoprodutor, foram requeridas pela mesma. Estes requerimentos foram baseados na Informação Técnica DAP - 01/04 de Junho/04 [34], que trata da normatização dos autoprodutores nesta concessionária.

Logo, a microturbina operará fornecendo energia ao barramento da PUC-Rio, que já se encontra em paralelo com a rede de distribuição da LIGHT, dessa forma, ela operará em carga plena (carga base). Para tal efeito, na Fig. 25, mostra-

se o esquema de ligação da microturbina Capstone C30 LPNG à rede elétrica do ginásio da PUC-Rio, assim como o esquema de ligação da rede elétrica local à rede da PUC-Rio (SUBESTAÇÃO DE MEDIÇÃO).

Para transformar a tensão gerada pela microturbina (440 VAC) para a tensão da rede da PUC-Rio (220 VAC), instalou-se um autotransformador trifásico de potência nominal de 45 KVA, marca TRANSFORLINE, entre a microturbina e o quadro de distribuição do ginásio da PUC-Rio. Para proteção do circuito da microturbina ou da PUC-Rio contra danos causados por possíveis sobrecargas no sistema, um disjuntor TED 134060 de 60 A foi colocado entre a microturbina e o autotransformador.

Cabe destacar que para possíveis falhas da rede elétrica da LIGHT, o esquema de instalação da microturbina permitiria fornecer energia elétrica às demais dependências da PUC-Rio através das chaves A, B e C (Fig. 25); estando, a microturbina, impossibilitada de fornecer energia elétrica à rede local da concessionária devido a um sistema de proteção instalada na SUBESTAÇÃO DE PROTEÇÃO.

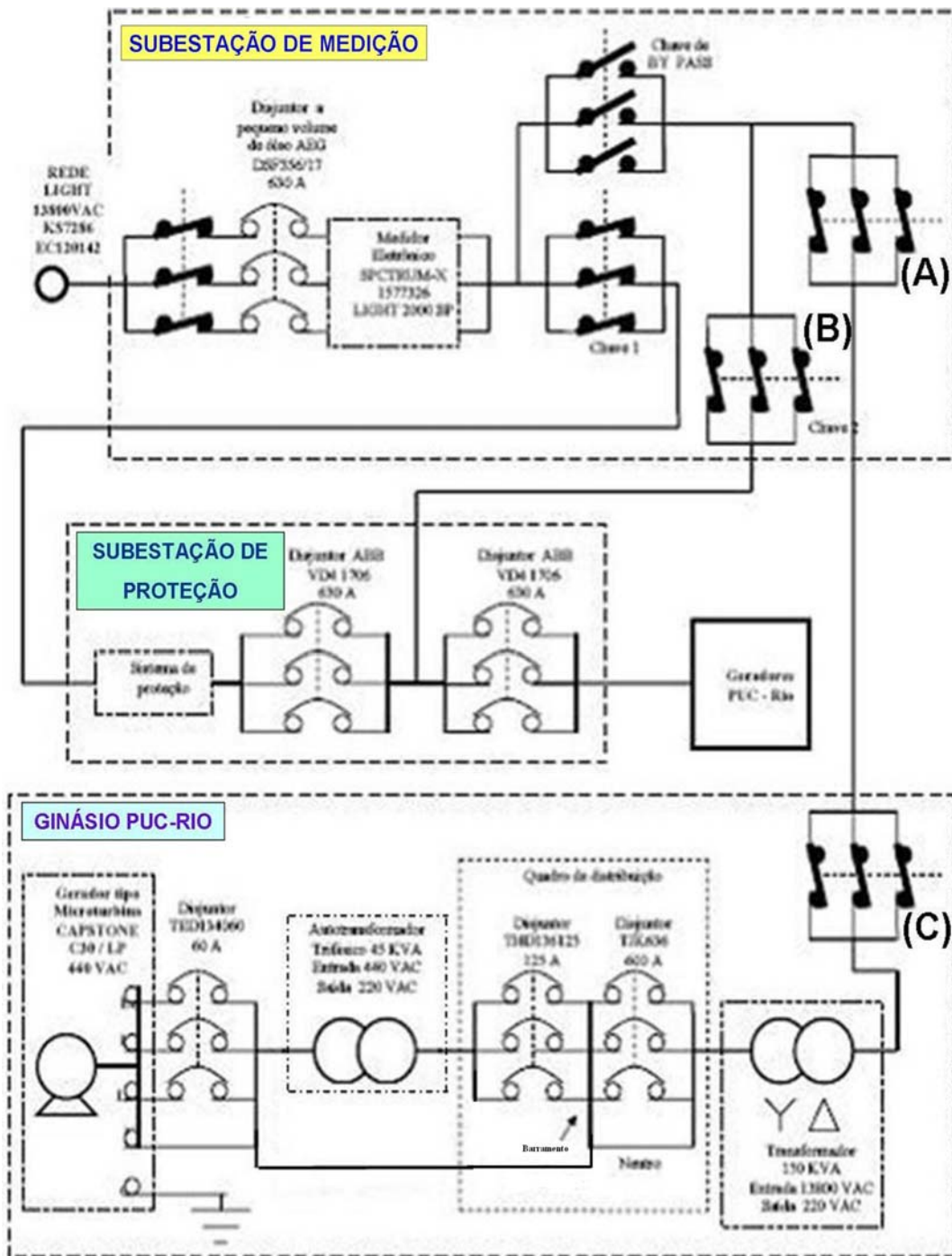


Figura 25 - Ligação elétrica gerador tipo microturbina Capstone C30 LPNG ao barramento da PUC-Rio.



Figura 26 - Autotransformador Trifásico de 45 kVA instalado na PUC-Rio.

3.3

Aproveitamento da energia térmica do sistema

A energia térmica contida nos gases de exaustão da microturbina é aproveitada no aquecimento da água para os chuveiros do ginásio da PUC-Rio; na Fig. 27 são apresentadas algumas características térmicas da microturbina em carga máxima nas condições ISO.

As condições ISO são definidas como:

- Temperatura Ambiente = 15 °C.
- Umidade relativa do ar = 60%.
- Pressão atmosférica = 101,325 kPa.

Full Load Specifications @ ISO Conditions (15°C / 59°F @ sea level) @ 5 psig			
Performance @ 5 psig Natural gas (0.2-15 psig)	Power 28 kW net (+0/-1) 38.2 kVA max @ 480VAC	Efficiency (LHV) 25% (± 2)	Heat Rate (LHV) 14,400 kJ (13,700 Btu) / kWh
Emissions: NO _x	<9 ppmV @ 15% O ₂ (<0.49 lb/MWh)		Dimensions H: 1900mm (74.8") W: 714mm (28.1") D: 1344mm (52.9")
Intake/Exhaust Fuel flow (natural gas HHV) Exhaust gas temperature Mass flow Total exhaust energy	440,000 kJ/hr (420,000 Btu/hr) 275°C (530°F) 0.31 kg/s (0.68 lb/s) 327,000 kJ/hr (310,000 Btu/hr)		Weight 478 kg (1052 lb) <small>Add 173 k (380 lb) for stand-alone option</small> Sound 65dBA @ 10 m (33 ft) <small>58dBA @ 10 m (33 ft) with optional silencer</small> CE L _{WA} 98 compliant
<small>* See www.microturbine.com/compliance for detail Fuel heat content: 36.1 to 42.1 MJ/m³ (970 to 1130 Btu/scf) HHV; natural gas, methane. Inlet pressure 0.2-15 psig. The manufacturer reserves the right to change or modify, without notice, the design or equipment specifications without incurring any obligation either with respect to equipment previously sold or in the process of construction. The manufacturer does not warranty the data on this document. Warranted specifications are documented separately.</small>			

Figura 27 - Características dos gases de exaustão da Microturbina Capstone C30 Recuperated LPNG.

Os gases de exaustão da microturbina são direcionados a uma caldeira de recuperação de calor modelo ITC1 através de um duto, como observado na Fig. 28.



Figura 28 - Instalação do Duto de Exaustão entre a Microturbina Capstone C30 LPNG e a Caldeira de Recuperação ITC1.

A caldeira de recuperação modelo ITC1 é basicamente constituída de: [35]

- Trocador de calor de tubos de aço inoxidável AISI 304, aletados.
- Sistema digital de controle de temperatura - finalidade: impedir que a temperatura da água ultrapasse um valor pré-determinado para operação segura do sistema (no caso da PUC o valor ajustado é de 85°C). O sistema digital de controle de temperatura esta sempre comparando a leitura enviada pelo termopar, com o valor que foi configurado nele. Se nessa comparação for constatado que a temperatura da água esta igual ao valor configurado, será enviado um comando elétrico para a abertura do damper de forma que os gases sejam exauridos diretamente para a atmosfera, sem ter que passar pelo trocador de calor. O damper permanecerá aberto até que a temperatura da água fique menor que o valor configurado, quando então será enviado outro comando para fechamento do damper, possibilitando dessa forma que os gases quentes voltem a passar pelo trocador de calor.
- Bomba de circulação de água - finalidade: circulação da água através do trocador de calor e de todo o sistema.
- Cabina de proteção, apta para intempéries.
- Duto para conexão entre a Microturbina e o Recuperador de Calor, com isolamento térmica.
- Termopar - finalidade: informar para o sistema digital de controle de temperatura o valor da temperatura da água na caldeira.
- Flow switch – finalidade: proteção - parada por falta de circulação de água.
- Dumper on - off (atuador elétrico) - finalidade: quando aberto possibilita a liberação dos gases diretamente para a atmosfera sem passar pelo trocador de calor. Quando fechado permite a passagem dos gases através do trocador de calor para aquecer a água originando com isto, conforme referenciado em [36], as duas formas básicas de operação da caldeira de recuperação: Modo de By-Pass e Modo de Recuperação de Calor, respectivamente.
- Indicador digital de temperatura de saída de água.

A caldeira de recuperação modelo ITC1 possui as seguintes características:

- Potência de bomba de água: 2HP (1.5 kW)
- Tensão de alimentação: 3 x 380V- 50 Hz // 3 x 220V - 60 Hz.

- Temperatura máxima de saída de água: 95°C
- Vazão de circulação de água: 120 litros/ min. (31.7 USGPM).



Figura 29 - Detalhe da Caldeira de Recuperação ITC1 da planta de cogeração instalada na PUC-Rio.



Figura 30 - Painel do Controlador de Temperatura.

A água circula através do circuito da caldeira de recuperação - boiler com ajuda da bomba. Ela é a encarregada de fornecer água à caldeira de recuperação através de tubulações de 2 polegadas de diâmetro e de levar a água aquecida ao reservatório térmico (Boiler) instalado na parte superior do ginásio, a uma altura aproximada de 9,0 m, através de tubulações de cobre de aproximadamente 1¼ polegadas de diâmetro; as tubulações de água quente estão isoladas com papel de alumínio corrugado. O Boiler é um cilindro fabricado de aço inoxidável AISI 304 e tem uma capacidade de 1000 litros.



Figura 31 - Reservatório Térmico (Boiler) da planta de cogeração da PUC-Rio.

O boiler tem como função o armazenamento da água quente para sua posterior utilização durante o dia ou à noite. Na Fig. 31 pode-se observar a instalação do boiler na parte superior do ginásio da PUC-Rio.

Para garantir o constante fornecimento de água, para aquecimento na caldeira de recuperação, a planta de cogeração conta com uma caixa de água fria de 500 litros de capacidade para alimentação do boiler, os quais se encontram conectadas mediante tubulações de PVC de $\frac{3}{4}$ pol. de diâmetro. A água fornecida da caixa para o boiler é alimentada da cisterna do ginásio, que é fornecida pela rede pública.

Cabe destacar que o Boiler traz um sistema auxiliar de aquecimento, conformado por duas resistências elétricas e duplo termostato; isto para evitar uma provável falta de água quente nos chuveiros durante uma eventual falha no sistema de cogeração ou quando o sistema não funcione, isto quer dizer, que o sistema será acionado apenas quando houver necessidade.

Na Fig. 32 é mostrada a instalação do Boiler – Caixa de Água Fria da planta de cogeração do ginásio da PUC-Rio.



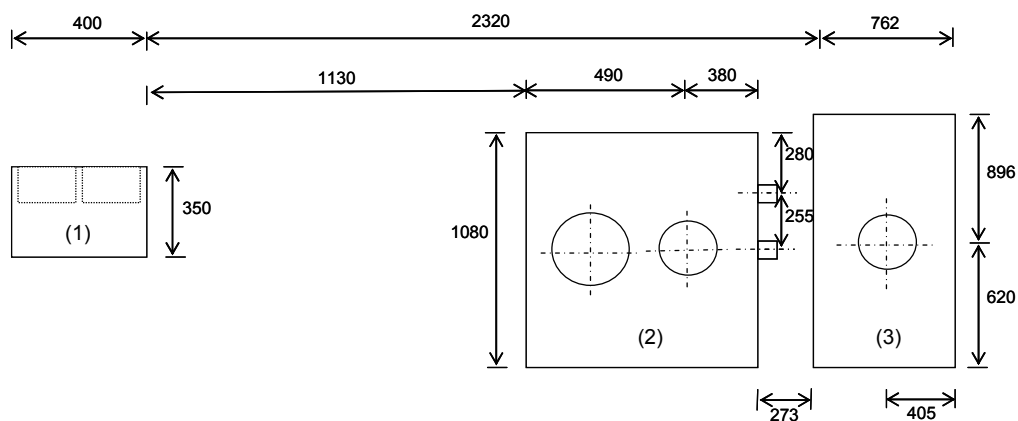
Figura 32 - Boiler e Caixa de Água da planta de cogeração da PUC-Rio.

Na Fig. 33 mostra-se a instalação dos misturadores colocados nos chuveiros dos banheiros masculino e feminino do ginásio da PUC-Rio cuja finalidade é misturar a água armazenada no reservatório, a 85°C, com a água a temperatura ambiente, resultando numa temperatura em torno de 40°C para o usuário.



Figura 33 - Misturadores de água quente nos banheiros do ginásio da PUC-Rio.

Nas Figuras 34 e 35 mostra-se graficamente a instalação da microturbina Capstone C30 LPNG e da caldeira de recuperação ITC1, com as unidades em mm e o isométrico do sistema de cogeração, com as unidades em m, respectivamente.

**OBS (1)**

- 1) Sistema de acionamento e proteção da microturbina.
- 2) Caldeira de Recuperação.
- 3) Microturbina Capstone C30 LPNG.

OBS (2)

Unidades em mm.

Figura 34 - Instalação da microturbina Capstone C30 LPNG - Caldeira de Recuperação ITC1.

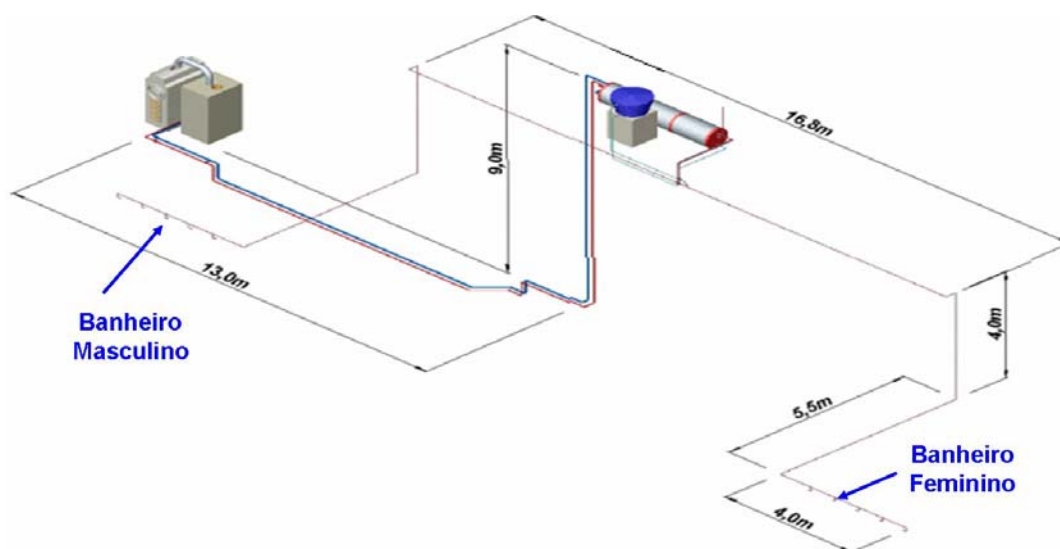


Figura 35 - Sistema de Cogeração da PUC-Rio.

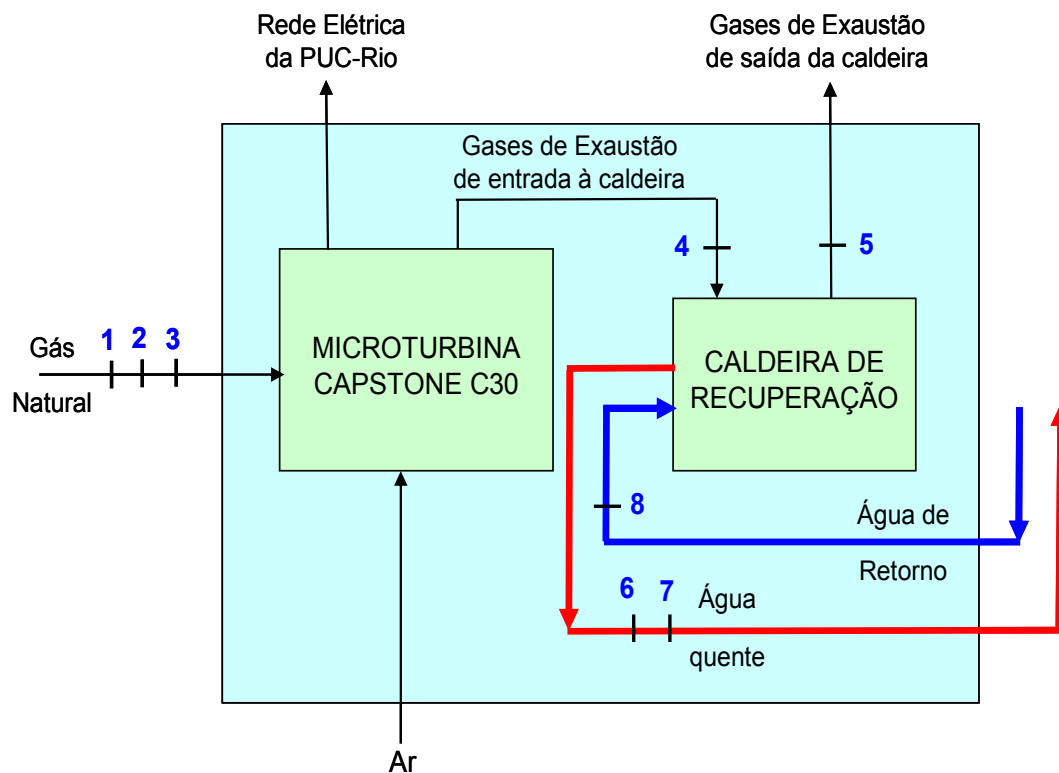
3.4

Instrumentação

No sistema de cogeração instalado no ginásio da PUC-Rio foram instalados medidores de pressão estática e temperatura, junto com medidores tipo turbina, com o objetivo de medir as grandezas físicas, pressão, temperatura e vazão de

operação do fluido de trabalho (água), vão ser medidos também: pressão, temperatura e vazão do gás natural assim como temperatura dos gases quentes de exaustão. Além disso, com a ajuda dos sensores internos da microturbina, foram aquisitados alguns dados correspondentes à parte da microturbina (Potência, Temperatura de entrada do ar ao compressor, Pressão Atmosférica e RPM).

Na Fig. 36 apresenta-se o esquema de disposição do sistema de fornecimento de gás natural, microturbina a gás, caldeira de recuperação, medidores e sensores externos instalados no sistema. Os dados fornecidos pelos diversos medidores foram lidos por um aquisitor de dados Agilent 34907A. O esquema de ligações é detalhado na Fig. 37.



- 1 Pressão do Gás Natural.
- 2 Vazão de Gás Natural.
- 3 Temperatura do Gás Natural.
- 4 Temperatura Gases de Exaustão de entrada à caldeira ($T_{EX IN}$).
- 5 Temperatura Gases de Exaustão de saída da caldeira ($T_{EX OUT}$).
- 6 Temperatura da água de saída da caldeira (água para o reservatório) ($T_{ÁGUA OUT}$).
- 7 Vazão da água de saída da caldeira (água para o reservatório).
- 8 Temperatura da água de entrada à caldeira (água do reservatório) ($T_{ÁGUA IN}$).

Figura 36 - Esquema do Sistema de Medição da Bancada da Microturbina a Gás.

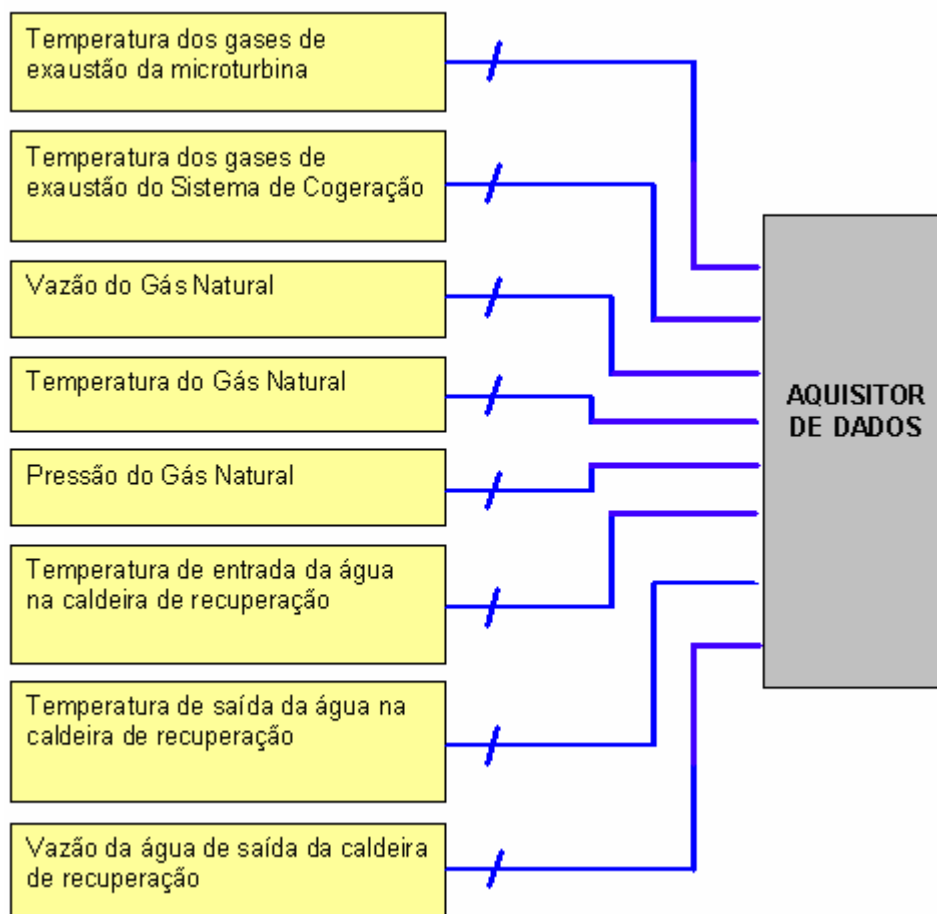


Figura 37 - Esquema de ligação dos sensores ao sistema de aquisição de dados.

3.4.1

Descrição dos sensores

Para realizar as medições das grandezas do sistema de cogeração, foram instalados 8 sensores na bancada de testes. Para a medição das temperaturas utilizaram-se cinco termômetros de resistência do tipo Pt-100, para as medições da vazão utilizaram-se dois medidores de vazão do tipo turbina enquanto que para a medição das pressões utilizou-se um transdutor de pressão.

3.4.2

Medidores de vazão tipo turbina

O medidor de vazão tipo turbina prove um sinal de saída igual a um trem de pulsos, com frequência linearmente proporcional à vazão do fluido. O fluido passa no interior da turbina, fazendo girar um rotor em uma velocidade angular que é proporcional à velocidade do fluido e, portanto, proporcional linearmente à vazão do fluido.

Um detector eletromagnético converte a rotação do rotor em um sinal usável, ou em um trem de pulsos escalonados ou no sinal padrão de 4 a 20 mA. Há turbinas cujos totalizadores ou indicadores são acionados mecânica e diretamente pela vazão.

Na turbina clássica, o eixo de rotação da turbina é longitudinal ao sentido da vazão do fluido. As lamina da turbina, de material ferromagnético, induzem o trem de pulsos, quando corta o campo magnético. Uma bobina externa com um magnético detecta o trem de pulsos. Há também turbinas cujo rotor gira tangencialmente à vazão.

Quando a turbina está distante (mais de 60 metros, por exemplo) do instrumento receptor dos pulsos, ou quando os fios de transmissão percorrem regiões com elevado grau de interferência elétrica, deve se usar o pré-amplificador, que reforça e condiciona o trem de pulsos. O pré-amplificador pode ser montado integralmente ao corpo da turbina.

Os fluidos a serem medidos devem ser isentos de sujeira e não podem ser abrasivos, pois destruiriam rapidamente o rotor da turbina. É normal o uso de filtro antes do local de montagem da turbina, cerca de 15 diâmetros de separação.

a) Vantagens do medidor

As principais vantagens são:

- Boa precisão, repetibilidade e confiabilidade;
- Sua rangeabilidade é a maior entre todos os medidores de vazão, pois a relação matemática envolvida é linear. Tipicamente, tem-se rangeabilidade de 100:1, 50:1;

- A saída é linear, digital (trem de pulsos), adequada para sistemas de totalização de vazão. A turbina é ideal para sistemas de mistura digital (blending);
- A turbina é de pequeno tamanho e peso, sendo fácil instalação. Geralmente ela é instalada entre flanges.

b) Desvantagens do medidor

As limitações referentes à turbina são:

- É montada em linha e para sua calibração se necessita da simulação de uma vazão conhecida. O fator de mérito da turbina é seu fator K, que associa a unidade de vazão à frequência dos pulsos gerados;
- A turbina possui peça móvel. Embora haja apenas o rotor móvel, há desgaste e folga nos seus mancais de sustentação.
- Ela pode ser danificada por velocidade acima da calculada. Ela não se aplica para medição de vazão de fluidos abrasivos, sujos, corrosivos e de alta velocidade;
- Seu custo é elevado, principalmente se considerada a colocação do filtro a montagem e o uso do pré-amplificador para distâncias acima de 60 metros;
- Requer longos trechos longos e distúrbios podem afetar a medição.

Durante o desenvolvimento dos testes no sistema de cogeração foram medidas a vazão de Gás Natural e a vazão da Água, as características dos medidores são detalhadas abaixo.

1) Linha de gás natural

Sensor	.....	Turbina
Fabricante	.....	CONTECH
Modelo	.....	SVGT-3/4"
Nº de série	.....	0204121
Sinal de saída	.....	4 – 20 mA
Escala	.....	0 – 3.90 m ³ /h
Alimentação	.....	24 Vdc

Na Fig. 38 apresenta-se a Curva do Sensor de Vazão de Gás Natural tipo Turbina.

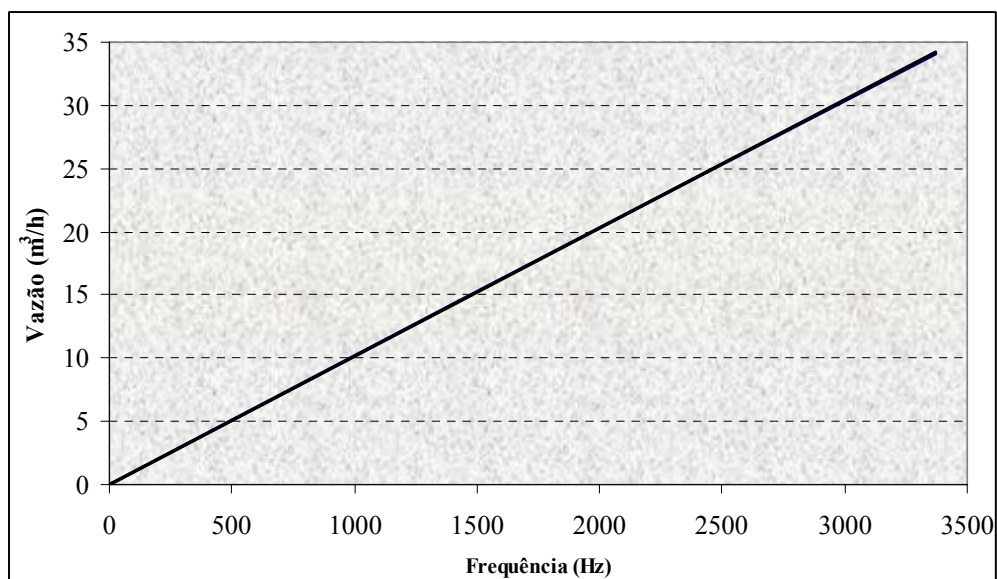


Figura 38 - Curva do Sensor de Vazão de Gás Natural tipo Turbina.

Na Fig. 39 apresenta-se o esquema do cavalete de medição para o Gás Natural.

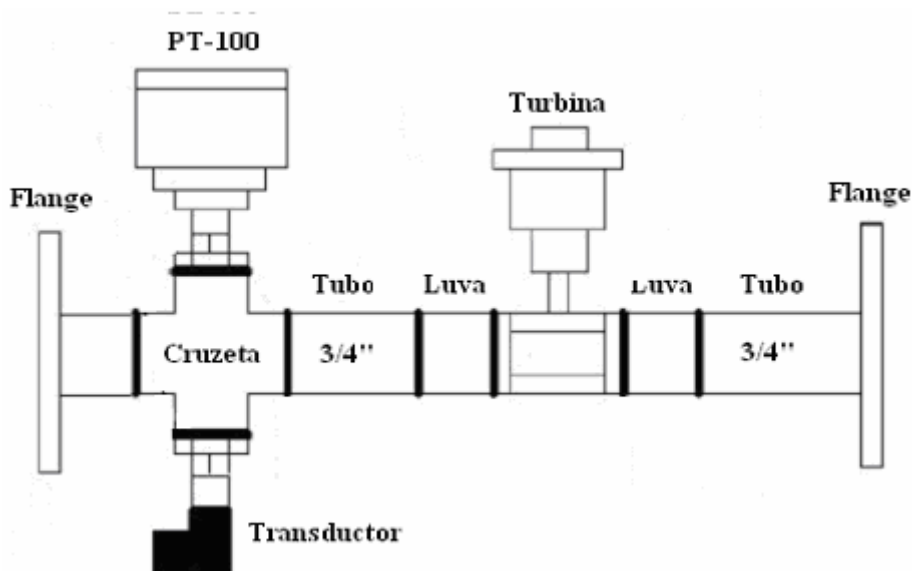


Figura 39 - Esquema do cavalete de medição para o Gás Natural.

2) Linha de água

Sensor	.....	Turbina
Fabricante	.....	CONTECH
Modelo	.....	SVTL – 1 1/2”
Nº de série	.....	05120008

Na Fig. 40 apresenta-se a Curva de Linearidade do Sensor de Vazão de Água.

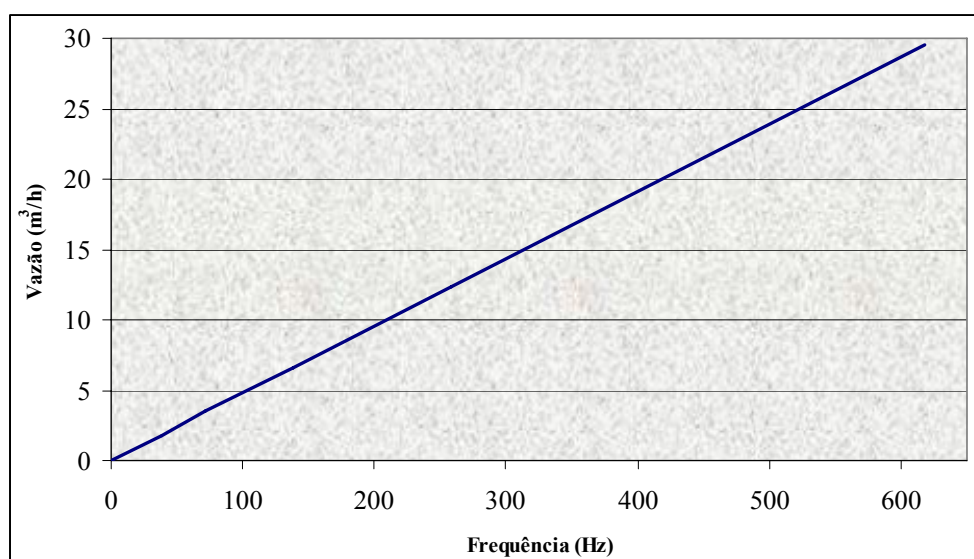


Figura 40 - Curva do Sensor de Vazão de Água.

3.4.3

Termômetro de resistência tipo PT-100

Os termômetros de resistência são sensores de temperatura que operam baseados no princípio da variação da resistividade elétrica de um metal, em função da temperatura, sendo confeccionados com fios altamente purificados de platina, níquel ou cobre. Suas principais características são as altas estabilidades mecânica e térmica, resistência à contaminação, relação resistência / temperatura praticamente linear, desvio com uso e envelhecimento pouco representativos, além de alto sinal elétrico de saída. O termômetro de resistência de platina, modelo de laboratório, é o padrão mundial para medidas de temperaturas na faixa

de -50°C a +600°C. Na versão industrial, é um sensor de inigualável precisão, sensibilidade e estabilidade.

O elemento primário do termômetro de resistência é um sensor, feito de um fio de alta pureza encapsulado num tubo de vidro ou cerâmico. Os valores de resistência são padronizados a uma temperatura fixa, por exemplo, 100 ohms a 0°C.

Na bancada de testes do sistema de cogeração, os transmissores possuem como sensor uma termoresistência do tipo PT-100 a quatro fios, cuja saída esta ligada diretamente a um sistema conversor e gera um sinal proporcional de 4 a 20 mA. Estes elementos do sistema de medição são sensores de temperatura que operam baseados no principio da variação da resistividade elétrica de um metal, em função da temperatura, sendo confeccionados com fios altamente purificados de platina.

Cinco termômetros de resistência do tipo PT-100 foram utilizados para medição das temperaturas da água de entrada e saída à caldeira de recuperação, as temperaturas dos gases de exaustão de entrada e saída à caldeira de recuperação e temperatura do Gás Natural. Aas características dos medidores são detalhadas abaixo.

Características:

- Fabricante: ECIL PRODUTOS E SISTEMAS DE MEDIÇÃO E CONTROLE LTDA.
 - Modelos
- 1- **TS13/PC1 - S/316 – 06 – S - 110/CEA - 21/21/4BI - 4BP/S ligação 4 fios**
- Termoresistência - Tipo PT-100 Ohms, Classe A, Ligação 4 fios, Bainha em Aço Inox 316, Diâmetro 6 mm, com comprimento “U”=110mm, Cabeçote em alumínio a prova de explosão, conexão elétrica ½” NPT, Conexão ao processo ajustável (BUCIM) em Inox ½” BSP, com comprimento de +/- 45 mm, escala 0.0 °C até 150 °C.
 - 2- **TS13/PC1 - S/316 – 06 – S - 100/CEA -21/00/S ligação 4 fios -**
Termoresistência, Tipo PT-100 Ohms, Classe A, Ligação 4 fios, Bainha em Aço Inox 316, Diâmetro 6 mm, com comprimento “U”=100mm, Cabeçote em alumínio a prova de explosão, conexão elétrica ½” NPT, sem Conexão ao processo., escala 0.0 °C até 150 °C.

- 2 **TS13/PC1 - S/316 – 06 – S - 200/CEA - 21/21/4BI - 4BP/S ligação 4 fios**
- Termoresistência, Tipo PT-100 Ohms, Classe A, Ligação 4 fios, Bainha em Aço Inox 316, Diâmetro 6 mm, com comprimento “U”=200 mm, Cabeçote em alumínio a prova de explosão, conexão elétrica ½” NPT, Conexão ao processo ajustável (BUCIM) em Inox ½” BSP, escala 0.0 °C até 150 °C.
- 3 **Acessório - BCE – 26 – F – 302 – 4 - Cabo de Compensação, 4**
Condutores, Fio BITOLA 26 AWG, Isolação SINGELA em PVC, com trança em cobre estanhado.

3.4.4

Transmissor de pressão

É utilizado no monitoramento contínuo da pressão em processos envolvendo líquidos ou gases.

A pressão é medida por meio de um transdutor piezoresistivo, que converte a força exercida pelo fluido sobre o diafragma em um sinal diretamente proporcional à sua intensidade e que é então enviado a um circuito eletrônico. Um sinal analógico de 4-20 mA (a 2 fios) é gerado pelo circuito, sendo proporcional ao valor da pressão.

Apresenta invólucro e diafragma normalmente em Aço Inox o que garante sua aplicação com os mais diversos tipos de fluídos. Todos os transmissores saem de fábrica com a saída de 4-20 mA calibrada e não necessitam de qualquer ajuste em campo, bastando ao usuário efetuar sua instalação no processo que será monitorado [37]. As características do medidor são detalhadas a continuação:

Sensor de Pressão

SENSOR	.....	Transdutor No 2
FABRICANTE	.....	WIKA
N. SÉRIE	.....	3600593
SAÍDA	.....	4 ~ 20 mA
PRESSÃO	.....	0 - 10 BAR

3.4.5**Aquisitor de dados**

Para o caso dos sensores externos, por serem estes analógicos e fornecerem diferentes grandezas elétricas, é necessária a utilização de um aquisitor de dados digital multicanal; motivo pelo qual se utilizou o aquisitor de dados Agilent 34970A equipado com o multiplexador de 20 canais 34901A.

Multímetro

FABRICANTE	.....	AGILENT TECHNOLOGIES
MODELO	.....	34970A