

3. Metodologia de Análise e Desenvolvimento

Neste capítulo é descrito o desenvolvimento da metodologia proposta assim como a plataforma computacional utilizada para chegar aos resultados esperados. Na parte final é descrita outra metodologia alternativa (segunda metodologia) que foi desenvolvida com o objetivo de disponibilizar alternativas de solução nos casos que em lugar dos dados de consumo por intervalos de tempo se tenha unicamente as faturas de consumo fornecidas pela concessionária.

3.1 Introdução

Desde o ponto de vista de qualquer usuário, para nosso caso usuários do setor comercial, vai ser muito importante saber qual é, econômica e operacionalmente, a melhor opção de produção de energia com um dado sistema híbrido.

É importante saber também que antes de implementar ou dimensionar qualquer sistema híbrido deve-se determinar qual é o horário mais conveniente na instituição para o seu funcionamento (horário de ponta ou fora de ponta) assim como ter feito previamente uma avaliação de mudança de tarifa paga a concessionária para saber se realmente a opção de implementar um sistema híbrido é economicamente e operacionalmente a decisão mais viável.

Tomando em conta essas considerações, a metodologia proposta vai nos permitir simular um determinado perfil de consumo de energia na ausência de todos os dados de consumo possíveis para poder dimensionar adequadamente nosso sistema híbrido.

Na primeira etapa do desenvolvimento da metodologia fez-se a análise de dados mensais das contas de luz fornecidas pela concessionária durante um ano, ou seja, o consumo de energia elétrica com base apenas nas faturas de

energia elétrica mensal. Fez-se também um levantamento do perfil elétrico de um mês de consumo de energia elétrica a cada 15 minutos solicitados a Concessionária local e disponibilizados pela Prefeitura do Campus da PUC – Rio.

A segunda etapa do desenvolvimento da metodologia foi fazendo uso da plataforma computacional macros no Excel para organizar essa grande quantidade de dados fornecidos pela concessionária a cada 15 minutos, ou seja, as Potências de Carga (kW) a cada 15 minutos de um determinado mês do ano; estes dados foram processados para obter só os perfis de consumo nos horários de ponta e nos dias úteis do mês, sendo chamados de Dados de Entrada.

Na terceira etapa, utilizando a Função de Densidade de Probabilidade, foram especificados intervalos de leituras de Potência de Carga em (kW) que vão de zero até a máxima demanda de potência da instituição. Com isto, pode-se determinar com que frequência uma determinada Demanda em (kW) se repete e com esses dados gerar o Histograma de Densidade de Probabilidade e a partir deste gráfico construir a Curva de Capacidade de Carga explicada no item 2.1.6 no Capítulo 2.

Em esta terceira etapa do desenvolvimento da metodologia vamos fazer uso de uma ferramenta estatística chamada de Função de Densidade de Probabilidade explicada no item 2.4 no Capítulo 2. É importante mencionar que a estatística tem contribuído muito para a resolução de problemas e de situações onde se tenha uma grande quantidade de dados.

Alguns modelos de probabilidades estatísticas onde a quantidade de dados o amostras são muito grandes têm sido fundamentais, tanto para o diagnóstico de determinadas situações, como para previsões e tomada de decisões.

Após de fazer uma análise dos modelos probabilísticos existentes na teoria para análise e organização de dados escolheu-se a Função de Densidade de Probabilidade.

Á função é comumente utilizada quando se tem grande quantidade de dados os quais estão associados a um dado (valor), é dizer, quando temos

grande probabilidade de que os dados possam estar associados a um dado comum só.

No ponto inicial do desenvolvimento da metodologia proposta nos temos que organizar uma grande quantidade de dados (dados de entrada) que são as potências em kW a cada 15 minutos durante um período de tempo (meses ou anos) fornecido pela concessionária local. Usando a Função de Densidade de Probabilidade vão se agrupar todos esses dados em intervalos de potências que vão desde um valor mínimo (0 kW) até um valor máximo de potência, depois usando o Programa Computacional Excel vamos construir um histograma com todos esses dados organizados em ditos intervalos e identificar em qual intervalo encontram-se agrupados a maior quantidade de valores de potência de carga. O histograma serve para identificar qual é o intervalo de maior densidade ou em qual intervalo se encontra agrupado a maior quantidade de dados.

É assim, que a partir de esse intervalo de dados de potência (kW) identificado no histograma da Função Densidade de Probabilidade nos poderemos construir a Curva de Capacidade de Carga para dimensionamento do número ótimo de geradores.

A Função de Densidade de probabilidade é usada no desenvolvimento da metodologia na falta de dados cada 15 minutos de um ano todo, em outras palavras nós poderíamos obter a curva de Capacidade de Carga só com as aproximações da Função Densidade de probabilidade se tivéssemos dados cada 15 minutos de um mês só, ou em outro caso sabendo os intervalos da Função Densidade de Probabilidade obtida por outros meios.

Numa quarta etapa com a curva de Capacidade de Carga adimensionalizada pode-se saber com que porcentagem da capacidade de carga pode trabalhar o sistema híbrido para fornecer uma dada energia requerida pela instituição; após isto, pode-se fazer a avaliação econômica para dimensionar um número ótimo de geradores para o sistema.

Na quinta etapa descreve-se a segunda metodologia (uma metodologia alternativa) onde se mostra que na ausência completa de dados a cada 15 minutos e, só com as faturas fornecidas pela concessionária, pode-se criar a curva de Capacidade de Carga e dimensionar o sistema. Para esta segunda metodologia fez-se uso de uma plataforma computacional de resolução de

equações chamada EES (*Engineering Equation Solver*), e das faturas da PUC – Rio fornecidas pela concessionária *Light*.

3.2 Dados de Entrada

Para determinar os dados de entrada fez-se a análise de dados a cada 15 minutos da Potência de Carga de todos os dias de um mês do ano.

Tabela 8. – Medição CCK Potencia de Carga a cada 15 minutos (PUC – Rio)

Data	Hora	(kW)	Data	Hora	(kW)	Data	Hora	(kW)
10/03/2008	00:15	864,0	10/03/2008	08:15	2401,9	10/03/2008	16:15	3456,0
10/03/2008	00:30	881,3	10/03/2008	08:30	2557,4	10/03/2008	16:30	3369,6
10/03/2008	00:45	864,0	10/03/2008	08:45	2695,7	10/03/2008	16:45	3248,6
10/03/2008	01:00	864,0	10/03/2008	09:00	2782,1	10/03/2008	17:00	3196,8
10/03/2008	01:15	846,7	10/03/2008	09:15	2972,2	10/03/2008	17:15	3041,3
10/03/2008	01:30	864,0	10/03/2008	09:30	3110,4	10/03/2008	17:30	3006,7
10/03/2008	01:45	846,7	10/03/2008	09:45	3214,1	10/03/2008	17:45	2142,7
10/03/2008	02:00	846,7	10/03/2008	10:00	3214,1	10/03/2008	18:00	1658,9
10/03/2008	02:15	846,7	10/03/2008	10:15	3335,0	10/03/2008	18:15	1589,8
10/03/2008	02:30	864,0	10/03/2008	10:30	3317,8	10/03/2008	18:30	1520,6
10/03/2008	02:45	829,4	10/03/2008	10:45	3369,6	10/03/2008	18:45	1486,1
10/03/2008	03:00	846,7	10/03/2008	11:00	3335,0	10/03/2008	19:00	1382,4
10/03/2008	03:15	846,7	10/03/2008	11:15	3231,4	10/03/2008	19:15	1313,3
10/03/2008	03:30	829,4	10/03/2008	11:30	3386,9	10/03/2008	19:30	1244,2
10/03/2008	03:45	846,7	10/03/2008	11:45	3386,9	10/03/2008	19:45	1157,8
10/03/2008	04:00	829,4	10/03/2008	12:00	3438,7	10/03/2008	20:00	1105,9
10/03/2008	04:15	829,4	10/03/2008	12:15	3421,4	10/03/2008	20:15	1002,2
10/03/2008	04:30	829,4	10/03/2008	12:30	3421,4	10/03/2008	20:30	898,6
10/03/2008	04:45	846,7	10/03/2008	12:45	3352,3	10/03/2008	20:45	1589,8
10/03/2008	05:00	829,4	10/03/2008	13:00	3335,0	10/03/2008	21:00	1814,4
10/03/2008	05:15	829,4	10/03/2008	13:15	3265,9	10/03/2008	21:15	1814,4
10/03/2008	05:30	829,4	10/03/2008	13:30	3369,6	10/03/2008	21:30	1676,2
10/03/2008	05:45	829,4	10/03/2008	13:45	3369,6	10/03/2008	21:45	1641,6
10/03/2008	06:00	846,7	10/03/2008	14:00	3438,7	10/03/2008	22:00	1589,8
10/03/2008	06:15	864,0	10/03/2008	14:15	3490,6	10/03/2008	22:15	1468,8
10/03/2008	06:30	915,8	10/03/2008	14:30	3507,8	10/03/2008	22:30	1399,7
10/03/2008	06:45	1054,1	10/03/2008	14:45	3559,7	10/03/2008	22:45	1244,2
10/03/2008	07:00	1347,8	10/03/2008	15:00	3577,0	10/03/2008	23:00	1105,9
10/03/2008	07:15	1710,7	10/03/2008	15:15	3542,4	10/03/2008	23:15	1054,1
10/03/2008	07:30	1969,9	10/03/2008	15:30	3559,7	10/03/2008	23:30	1036,8
10/03/2008	07:45	2056,3	10/03/2008	15:45	3594,2	10/03/2008	23:45	1054,1
10/03/2008	08:00	2211,8	10/03/2008	16:00	3542,4	10/03/2008	00:00	1036,8

Como é mostrado na Tabela 8, a concessionária local fornece, á pedido, uma lista da Potência de Carga, dia por dia durante um mês do ano, a cada 15 minutos. A Tabela 8 mostra somente para um dia do mês de março do 2008, mas para quantificar os dados de todo o mês do março são necessários os dados de potência de todos os dias do mês, ou seja, dos 30 dias do mês.

São aproximadamente 2880 dados que com ajuda de uma planilha em macros na plataforma Excel serão processadas para obter somente os perfis de consumo no horário de ponta dos dias úteis. O listado de Potências de Carga da Tabela 8 é só para dar um exemplo de como a concessionária fornece esses dados.

Tabela 9. – Dados de Potência de Carga no horário de ponta para um determinado mês do ano (PUC – Rio, 2008)

Dia	Hora	kW	Dia	Hora	kW	Dia	Hora	kW
1	17:30	1641,6	8	17:30	2211,8	15	17:30	2522,9
1	17:45	1520,6	8	17:45	2142,7	15	17:45	2436,5
1	18:00	1468,8	8	18:00	2056,3	15	18:00	2350,1
1	18:15	1417,0	8	18:15	1987,2	15	18:15	2263,7
1	18:30	1365,1	8	18:30	1935,4	15	18:30	2229,1
1	18:45	1330,6	8	18:45	1883,5	15	18:45	2142,7
1	19:00	1244,2	8	19:00	1831,7	15	19:00	2073,6
1	19:15	1192,3	8	19:15	1762,6	15	19:15	2004,5
1	19:30	1175,0	8	19:30	1728,0	15	19:30	1952,6
1	19:45	1071,4	8	19:45	1693,4	15	19:45	1900,8
1	20:00	1036,8	8	20:00	1658,9	15	20:00	1883,5
1	20:15	1002,2	8	20:15	1607,0	15	20:15	1745,3
1	20:30	950,4	8	20:30	1572,5	15	20:30	1658,9

Como é mostrado na Tabela 9, depois de ter todos os dados de um mês a cada 15 minutos faz-se o processamento desses dados com ajuda da plataforma computacional Excel numa planilha Macros para obter só aqueles dados que estão dentro do horário de ponta (17:30 – 20:30). Normalmente estes dados vão estar distribuídos em 21 ou 22 dias do mês, de acordo com o número de dias úteis desse mês; cada dia vai ter 13 diferentes medições de Demanda (potência de carga). Então o primeiro passo é definir estes 13 valores (demanda em kW), para todos os dias úteis do mês, considerando só o horário de ponta da Instituição. A Tabela 9 só mostra 3 dias dos 21 dias totais do mês; os valores de

demanda vão sempre variar pela integração dos valores a cada 15 minutos obtidos durante o horário de ponta.

3.3 Plataforma Computacional

Uma vez feito o processamento de todos os dados cada 15 minutos de um mês de operação, pode-se usar novamente uma planilha de Microsoft Excel com uma linguagem de Macros para poder simular com esses dados processados anteriormente a Curva de Capacidade de Carga.

O primeiro passo é definir os intervalos nos quais se ajustam todas as medidas de demanda durante o mês todo, no horário de ponta (Orlando, 2005). Para definir esse intervalo, deve-se selecionar a maior demanda do mês expressa em (kW) e dividir por um valor. Este valor é igual a 5%. Com este resultado da divisão pode-se formar os intervalos que vão de 0 até a maior demanda.

$$\text{MaximaDemanda} \times [0,05] = [\text{Intervalo}] \quad (3,1)$$

Segundo a Equação (3,1), para o caso da PUC – Rio, fazendo a análise do mês de agosto de 2008, para um num mês de operação com uma demanda máxima de 3460 kW e dividindo este valor por 5% tem-ser exatamente 20 intervalos que vão de 0 kW até 173 kW cada um, como é mostrado na Tabela 10.

Tabela 10. – Intervalos de Demanda para um mês de Operação (PUC – Rio, 2008)

Intervalos de Demanda (kW)	Intervalos de Demanda (kW)
0 - 173	1730 - 1903
173 - 346	1903 - 2076
346 - 519	2076 - 2249
519 - 692	2249 - 2422
692 - 865	2422 - 2595
865 - 1038	2595 - 2768
1038 - 1211	2768 - 2941
1211 - 1384	2941 - 3114
1384 - 1557	3114 - 3287
1557 - 1730	3287 - 3460

Segundo Gmurman (1990), para uma dada Função Densidade de Probabilidade é necessário saber em que intervalo se localiza a maior incidência de valores ou variáveis contínuas; ou seja, a Função Densidade de Probabilidade se representa mediante um histograma. Neste histograma pode-se identificar o intervalo de maior incidência, ou maior densidade de valores, ou em outras palavras, o intervalo com maior número de freqüências onde se repetem o maior número de medições de demanda. Para o caso particular, o intervalo de maior freqüência de Demanda de Energia elétrica em (kW).

Com este propósito, pode-se configurar uma planilha na plataforma Excel com uma sentença lógica para que somente selecione os valores que se encontram dentro de cada um dos intervalos mostrados na Tabela 10, ou seja, de todo o listado das demandas cada 15 minutos dos 21 dias do mês, pode-se agrupar esses valores em seus correspondentes intervalos. Esta sentença lógica vai selecionar só os valores de demanda que se encontram dentro de um determinado intervalo; no caso em que um valor não se encontre no intervalo desejado o programa vai considerar zero. No final da sentença, o programa conta quantos valores pertencem a cada intervalo e este valor é considerado a freqüência com que cada valor se repete em cada intervalo.

Tabela 11. – Freqüência de Demanda (PUC – Rio, 2008)

Intervalo (kW)	Freqüência	% Freqüência	Media kW	kW/mês	kWh/mês
0 - 173	0	0	86	0	0
173 - 346	0	0	259	0	0
346 - 519	0	0	432	0	0
519 - 692	0	0	605	0	0
692 - 865	0	0	778	0	0
865 - 1038	3	1	951	2854	713
1038 - 1211	3	1	1124	3373	843
1211 - 1384	11	4	1297	14272	3568
1384 - 1557	31	11	1470	45585	11396
1557 - 1730	61	22	1643	100253	25063
1730 - 1903	59	21	1816	107173	26793
1903 - 2076	53	19	1989	105443	26360
2076 - 2249	33	12	2162	71362	17840
2249 - 2422	11	4	2335	25690	6422
2422 - 2595	7	2	2508	17559	4389
2595 - 2768	1	0	2681	2681	670
2768 - 2941	0	0	2854	0	0
2941 - 3114	0	0	3027	0	0
3114 - 3287	0	0	3200	0	0
3287 - 3460	0	0	3373	0	0

Como é mostrado na Tabela 11, na primeira coluna determinaram-se os 20 intervalos para valores de demanda de 0 kW até 3640 kW para um determinado mês do ano; na segunda coluna são mostrados quantos valores se repetem em cada um desses intervalos, ou seja, com que freqüência uma determinada demanda do mês se repete em cada um destes intervalos. Pode-se ver que no intervalo (1557 kW – 1730 kW) tem-se a maior freqüência com 22% do total de todas as freqüências, isso quer dizer que a maior densidade de probabilidade encontra-se nesse intervalo e o perfil de consumo para esse mês do ano é igual à média entre estes dos valores, ou seja, 1643,5 kW.

$$kW/mês = Freqüência * Média \tag{3,2}$$

$$kWh/mês = Média(kW) * 0,25(h) \tag{3,3}$$

Na quinta coluna da Tabela 11, é mostrado o cálculo do consumo de energia elétrica em (kW) de todo o mês segundo a Equação (3,2), multiplicando cada freqüência pela média em (kW) de cada intervalo. Finalmente na sexta coluna se mostra o cálculo da energia total consumida no mês em unidades de (kWh), segundo a equação (3,3) multiplicando a média em (kW) pelo tempo. Como as medições foram feitas cada 15 minutos isso corresponde a 25% de uma hora.

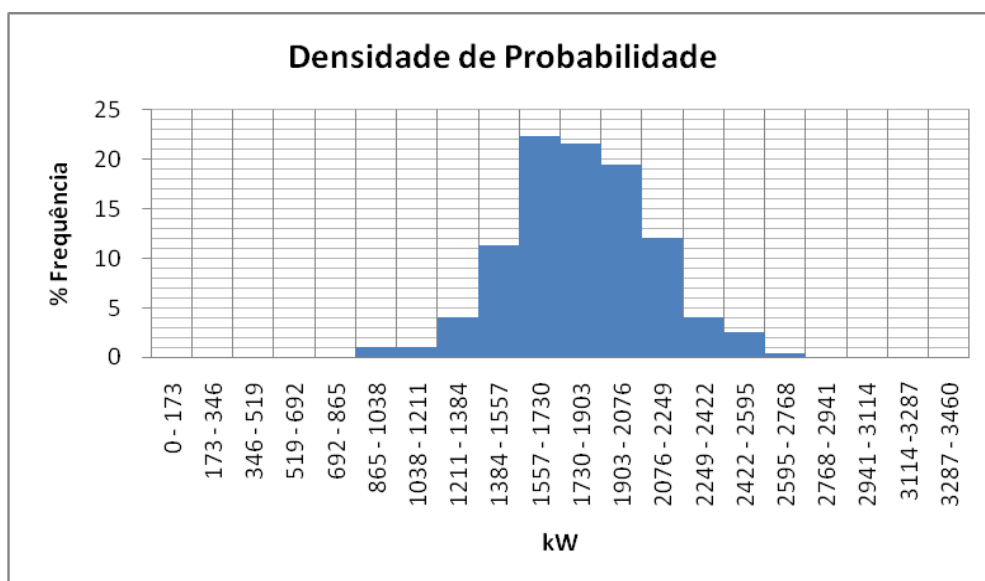


Figura 11. – Histograma da Freqüência de Demanda para um determinado mês de Operação (PUC – Rio, 2008)

Após de estabelecer as freqüências de demanda fizemos o histograma de densidade dessas freqüências. Como se mostra na Figura 11, a demanda com maior freqüência encontra se no intervalo (1557 kW – 1730 kW), ou seja, pode-se dimensionar um sistema híbrido para atender uma demanda em média de 1643,5 (kW); e a demanda restante terá que ser adquirida da concessionária local. Neste dimensionamento não sabemos exatamente com que capacidade de nosso sistema pode se atender um determinado requerimento de energia; assim como não teríamos informação suficiente para uma adequada análise econômica que acompanhe nossa decisão de investimento.

Para gerar a Curva de Capacidade de Carga que nos permita fazer um ótimo dimensionamento do Sistema Híbrido (Geradores), temos que achar valores adimensionais tais que para uma dada potência (kW) do sistema híbrido (Geradores) possamos atender um determinado requerimento de energia (kWh).

Tabela 12. – Valores adimensionais de Demanda (PUC – Rio, 2008)

% Demanda (Potência do Gerador)	Potência (kW)	% Demanda (Energia Requerida)	Energia Requerida (kWh)
100,00	2681	100,00	124062
93,55	2508	99,97	124019
87,10	2335	99,69	123673
80,65	2162	99,02	122851
74,19	1989	97,21	120602
67,74	1816	93,55	116061
61,29	1643	87,83	108968
54,84	1470	79,99	99237
48,39	1297	71,07	88165
41,94	1124	61,76	76617
35,48	951	52,34	64939
0,00	0	0,00	0

Como é mostrado na Tabela 12, usando a plataforma computacional do Excel, calcula-se adimensionalmente a porcentagem que corresponde a cada potência da Demanda Média, e quanto equivale em porcentagem cada Potência sabendo que 2681,50 kW correspondem a 100% e assim por diante, como se mostra na primeira coluna da Tabela 12.

No cálculo adimensional da energia requerida na terceira coluna da Tabela 12, multiplicou-se a demanda média pela a freqüência de cada intervalo e com o valor 0,25 de tempo em horas como se mostra na equação (3,4).

$$\% \text{Energia Re querida} = \text{Frequência} * \text{Demanda Média}(kW) * 0,25(h) \quad (3,4)$$

A demanda média da equação (3,5) considera o valor da somatória das demandas de todos os intervalos segundo a equação.

$$\text{Demanda Média} = \sum_{i=1}^n D(kW) = D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n \quad (3,5)$$

A demanda média se repete, ou é a mesma cada vez que estivermos operando com um intervalo diferente. Isto obedece a duas situações fundamentais: a primeira é que quando a demanda elétrica for inferior ou igual à potência do sistema híbrido (Gerador), este último opera em carga parcial ou plena respectivamente. O segundo caso é quando a demanda foi maior que a potência do sistema híbrido (Gerador), este último opera em carga plena e a energia complementar será adquirida da concessionária local.

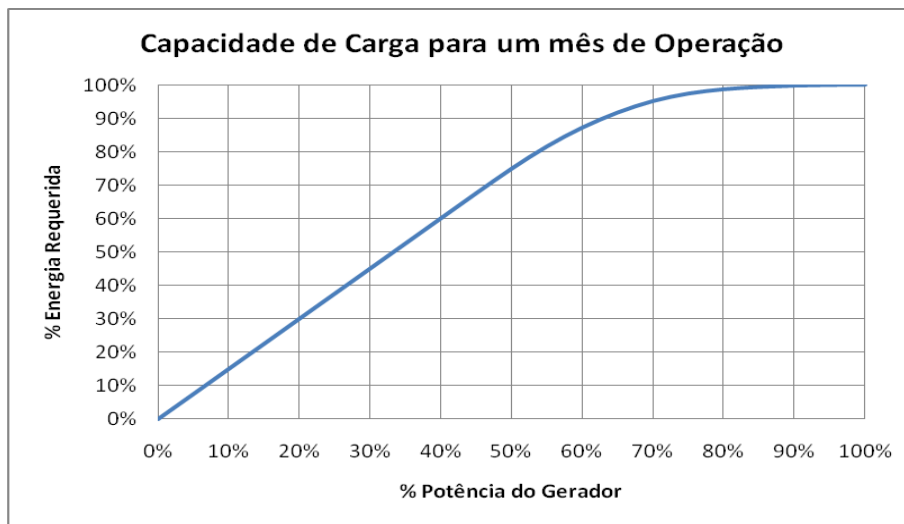


Figura 12. – Curva de Capacidade de Carga para um determinado mês de Operação (PUC – Rio, 2008)

Então com estes dados que são mostrados na Tabela 12, ou seja, com a porcentagem da Potência do Gerador na primeira coluna para as abcissas e com

a porcentagem da Energia Requerida na terceira coluna para as ordenadas, fez-se a curva de Capacidade de Carga como é mostrado na Figura 12.

Com o perfil elétrico de um mês gerou-se a curva de Capacidade de Carga onde na abcissa se indica a Capacidade (Potência do Gerador) em porcentagem, desde um valor mínimo de 0 kW (0%) até uma potência que seja igual à máxima demanda daquele mês (100%).

Na ordenada Energia Elétrica requerida (%) indica-se a porcentagem de energia elétrica que o gerador, para uma dada capacidade, pode fornecer.

Com os dados para cada 15 minutos no horário de ponta dos 21 dias úteis de um mês e usando a função Densidade de Probabilidade fez-se a Curva de Capacidade de Carga adimensionalizada para um mês de operação vamos supor que essa mesma curva é igual para todos os demais meses do ano, ou seja, nos fizemos à simulação para um mês de operação que vai ser a mesma para os demais meses do ano.

3.4 Dimensionamento dos Geradores

Depois de ter considerado a Curva de Capacidade de Carga igual para todos os meses do ano pode-se dimensionar o número ótimo de geradores que vão formar parte do sistema híbrido. Antes de isso é importante ter muito claro a utilidade da Curva de Capacidade de Carga, desenvolvida no ponto 3.3; é por isso que se deve explicar o referente à operação do Sistema Híbrido (gerador ou grupo de geradores). Podem-se ter dois casos.

O primeiro, se a demanda no horário de ponta da instituição for inferior ou igual à potência do gerador; este opera em carga parcial ou plena respectivamente.

No segundo caso se a demanda no horário de ponta da instituição for superior a potência do gerador, este opera de fato em carga plena e é mandatório que a energia complementar deva ser comprada à concessionária local até completar o requerimento de demanda da instituição.

A Curva de Capacidade de Carga vai permitir avaliar estas duas situações de forma que se possa dimensionar um número adequado (ótimo) de geradores para o Sistema que atenda com os requisitos de demanda da instituição e ao mesmo tempo o investimento na compra destes geradores seja economicamente viável.

Como foi explicado também no ponto 3.3, a Curva de Capacidade de Carga relaciona a energia elétrica produzida pelo sistema híbrido, para atender uma determinada demanda, com sua potência adimensionalizada pela máxima demanda de um mês base ou no mês que se tenha os dados de perfil elétrico a cada 15 minutos na instituição.

Em outras palavras, observando a Figura 12, pode-se afirmar que para um dimensionamento de apenas 80% da potência dos geradores (Sistema Híbrido) pode-se fornecer 98% da energia requerida pela instituição; e a diferença (2%) será adquirida da concessionária local.

Tomando o mesmo exemplo, na mesma Figura 12, pode-se afirmar também que para um dimensionamento de apenas 70% da potência dos geradores (Sistema Híbrido) pode-se fornecer 95% da energia requerida pela instituição e a diferença (5%) será adquirida da concessionária local. Continuando, se para um dimensionamento de apenas 60% da potência dos geradores (Sistema Híbrido) pode-se fornecer 85% da energia requerida pela instituição e a diferença (15%) será adquirida da concessionária local; e assim em diante para cada valor adimensionalizado da potência do gerador pode-se saber a quantidade de energia que pode ser gerada e o que deve ser adquirido da concessionária local.

Com os valores em porcentagem da abcissa da Curva de Capacidade de Carga que representa a potência do gerador adimensionalizado pode-se calcular a porcentagem da Potência do Sistema mediante a Equação (3,6).

$$\% P = \frac{PG}{P(Max)} \quad (3,6)$$

Sendo:

PG = Potência do Gerador (kW).

P(Max) = Máxima demanda do mês (kW), dado fornecido pela concessionária.

Para o caso dos valores mostrados na ordenada da Curva de Capacidade de carga, que representa a Energia Requerida pela instituição, também adimensionalizada, pode-se calcular a porcentagem de Energia Requerida mediante a Equação (3,7).

$$\% E = \frac{\text{Energia do Gerador}}{\text{Energia Total}} = \frac{PG * h}{ETotal} \quad (3,7)$$

Sendo:

PG = Potência do Gerador (kW).

h = Tempo em horas (média de 60 horas por mês)

ETotal = Máximo consumo de Energia Elétrica (kWh), dado fornecido pela concessionária.

No caso da PUC – Rio, para o desenvolvimento da metodologia proposta, foram usados os dados do mesmo mês de operação mostrado na Tabela 11. Para este mês de referência pode-se ver que a máxima demanda é de 3460 kW. Supondo um sistema híbrido composto por 4 Geradores de 364 kW cada um, ou seja, 1456 kW de potência do sistema, e segundo a equação (3,7), a relação entre esta potência e a máxima demanda adimensionalizada é igual a 42%. Isto quer dizer, de acordo com a curva de Capacidade de Carga da Figura 12, poder fornecer o 65% aproximadamente de toda a energia requerida pela instituição.

Mas, para dimensionar o número ótimo de geradores (1, 2, 4, 6 ou 10) que compõe o sistema deve-se avaliar a melhor opção de otimização do ponto de vista técnico e econômico; para esse propósito, usou-se a Curva de Capacidade de Carga para determinar a quantidade de energia que pode fornecer um número "X" de geradores e a que deverá ser adquirida da concessionária para atender a energia total requerida.

Então para dimensionar o número ótimo de geradores do sistema fez-se uma avaliação econômica aplicando ferramentas de avaliação de investimentos

como a Taxa Interna de Retorno (TIR) e o *Payback* com dados fornecidos pela Curva de Capacidade de Carga.

3.5 Análise Econômica para Dimensionamento dos Geradores

Com a curva de Capacidade de Carga pode-se saber com que potência dos geradores (kW) pode-se atender uma determinada demanda de energia ou Consumo de Energia (kWh); além disso, a utilidade mais importante dessa curva para o desenvolvimento da metodologia proposta é a informação que ela pode dar quanto à quantidade de energia que está sendo produzida pelo sistema; dessa forma pode-se saber a quantidade de energia que está sendo produzida pelos geradores e poder comparar com o consumo da instituição, para saber o que precisa ser adquirido da concessionária local, bem como dimensionar o número ótimo de geradores com uma maior Taxa Interna de Retorno do investimento.

Para o dimensionamento do sistema foram ordenados em várias Tabelas de cálculo na plataforma Excel todos os dados que a Curva de Capacidade de Carga pode fornecer, tais como: potência máxima fornecida pelos geradores, potência máxima da demanda da instituição, energia total consumida, energia fornecida pelos geradores, quantidade de energia a ser adquirida da concessionária, custo dessa energia segundo a tarifação estabelecida pela legislação vigente, com incidência dos respectivos impostos e finalmente, a economia que se conseguiria com a simulação de um número determinado de geradores.

Depois de calcular a economia com um número determinado de geradores, simulando para cada um deles a Taxa Interna de Retorno e o *Payback*, pode-se dimensionar o número ótimo de geradores que garanta a viabilidade técnica e econômica da instituição.

As tabelas mostradas a seguir fazem parte de uma planilha de cálculo consolidada na plataforma Excel para calcular a economia de um número determinado de geradores, respectivamente. Elas serão apresentadas separadamente para seu melhor entendimento.

Tabela 13. – Potência Máxima Mensal (Faturas da Concessionária Fornecidas mês a mês).

Ano	Mês	Numero Geradores	Pot. Max. Geradores kW	Pot. Max. Mensal PUC kW
2008	Jan	1	364	2162
2008	Fev	1	364	3027
2008	Mar	1	364	3373
2008	Abr	1	364	2854
2008	Mai	1	364	2508
2008	Jun	1	364	2681
2008	Jul	1	364	1989
2008	Ago	1	364	2681
2008	Set	1	364	2681
2008	Out	1	364	2681
2008	Nov	1	364	2335
2008	Dez	1	364	2162

A Tabela 13 mostra, na primeira coluna, o ano base de estudo; para o caso da PUC – Rio tomou-se o ano 2008; na segunda coluna são mostrados os meses do ano; na terceira coluna é mostrada a quantidade de geradores a ser dimensionada. Primeiro se faz uma simulação do sistema operando com um gerador; depois com dois, três, quatro e assim por diante. Na metodologia proposta chegou-se a fazer a simulação com até dez geradores. Na quarta coluna é mostrada a Potência do Gerador(s) em (kW) e finalmente, na quinta coluna, é mostrada a Demanda Máxima da PUC – Rio para cada mês, também em (kW); estes dados são fornecidos pela concessionária e se encontram nas faturas mensais.

A Tabela 14 mostra a primeira parte dos cálculos para calcular a energia máxima que os geradores podem fornecer; assim na primeira coluna calculou-se a porcentagem de demanda de energia em (kW) que o gerador ou o grupo de geradores pode suprir em cada mês do ano; para isso se achou a relação entre a potência máxima dos geradores e a potência máxima da PUC – Rio, indicada na quarta coluna da Tabela 13, e multiplicou-se por 100%.

Na mesma Tabela 14, na segunda coluna calcula-se a energia máxima mensal da instituição neste caso da PUC – Rio fazendo a somatória dos kWh fornecidos pelos geradores, esse valor vai ser igual aos 100% da potência dos geradores e aos 100% da energia gerada pelos mesmos; esses valores foram

achados anteriormente na quarta coluna da Tabela 12, Valores adimensionais de Demanda.

Na terceira coluna da Tabela 14, é mostrada a energia máxima que os geradores podem fornecer em cada mês do ano; para isso multiplicou-se a porcentagem da potência máxima dos geradores da coluna um com a energia máxima mensal da PUC – Rio.

Na quarta coluna da Tabela 14, é mostrado o consumo de energia elétrica expresso em (kWh) da instituição; para este caso da PUC – Rio, estes dados encontram-se nas faturas mensais que a concessionária local fornece cada mês.

Igualmente para a quinta coluna da Tabela 14, o custo mensal desta energia expressa em (R\$) reais, encontra-se também nas faturas mensais fornecidas pela concessionária e é o valor a ser pago à concessionária a cada mês pela energia elétrica adquirida. As tarifas estabelecidas pela concessionária estão regulamentadas e atualizadas segundo a Resolução Homologatória nº 734 de 4 de novembro de 2008, como foi mostrado no Segundo Capítulo, estudo das tarifas elétricas.

Tabela 14. – Energia Máxima a ser fornecida pelos Geradores

Pot. Max. Geradores %	Ener. Max. Mensal PUC KWh/mês	Ener. Max Geradores KWh/mês	Consum. Ener. PUC kWh/mês	Custo Ener. Consum. PUC R\$/mês
16,83	67340	11334	34599	67384
12,02	81591	9809	38189	74376
10,78	76228	8225	44941	87526
12,75	85137	10856	60834	118479
14,51	70692	10257	75060	148788
13,57	100058	13582	56043	111091
18,29	97463	17832	97183	192641
13,57	124062	16840	82417	163371
13,57	124300	16873	121409	240663
13,57	128474	17439	115940	229823
15,58	110114	17161	113080	224153
16,83	89224	15018	109236	212747

A terceira coluna da Tabela 14 mostra a Energia máxima dos Geradores em (kWh/mês); estes dados foram comparados mediante uma função lógica numa planilha do Excel para saber qual é exatamente a energia que os geradores precisam gerar para atender a demanda da instituição; então foram formuladas duas situações. Primeiro, se a energia fornecida pelo gerador for maior à energia requerida na PUC – Rio neste mês de operação, então será fornecida somente a energia requerida pela PUC – Rio, ou seja, os geradores operam em carga parcial até atingir o consumo requerido. Segundo, se a energia fornecida pelo gerador for menor que a energia requerida, os geradores operam em carga plena e a energia complementar será adquirida da concessionária local.

Tabela 15. – Energia Máxima a ser adquirida da concessionária local.

Ener. Fornecida pelos Geradores kWh/mês	Ener. A ser adquirida da Concessionária kWh/mês
11334	23264
9809	28379
8225	36716
10856	49977
10257	64802
13582	42460
17832	79350
16840	65576
16873	104535
17439	98500
17161	95918
15018	94217

Na Tabela 15, os resultados dessa função lógica são mostrados na primeira coluna, chamada Energia Fornecida pelos Geradores (kWh/mês). Estes valores mostram exatamente a energia que o sistema tem que gerar operando tanto em carga parcial como em carga plena. Neste caso, o gerador sempre opera em carga plena, porque está sendo simulada uma situação em que ao aumentar seu número atinge-se a energia requerida; a partir daí eles terão que operar em carga parcial. As tabelas dos resultados da simulação para um grupo de 2 até 10 geradores encontra-se nos apêndices da presente dissertação.

Para calcular a Energia a ser adquirida da concessionária, calculou-se a diferença entre o Consumo de Energia da PUC – Rio e a Energia Máxima dos

Geradores, ambos valores na quarta e terceira colunas, respectivamente, da Tabela 14. Neste cálculo foi levada em consideração que quando a Energia fornecida pelo gerador é maior que a Energia Requerida pela instituição, a energia a ser adquirida seria igual a zero.

Na segunda coluna da Tabela 15, (energia a ser adquirida da concessionária), são mostrados os resultados dessa diferença. Neste caso, em todos os meses do ano vai ser necessário adquirir energia da concessionária, pelo mesmo fato de que está sendo simulada uma situação com um gerador apenas. As tabelas dos resultados da simulação para um grupo de 2 até 10 geradores encontram-se nos apêndices da presente dissertação.

3.5.1

Análise de Custos para Dimensionamento dos Geradores

Os custos considerados no dimensionamento dos geradores são agrupados em oito itens como é mostrado na Tabela 16; as duas primeiras colunas correspondem à tarifa da concessionária, tanto para o período seco e úmido, conforme Capítulo 2, Composição das Tarifas Elétricas; na terceira coluna é mostrado o consumo específico do gerador expresso em litros por MW gerado. Na quarta coluna é mostrado o custo por litro atualizado do combustível (Diesel). Na quinta coluna, é mostrado o custo de manutenção do gerador estabelecido pelo fabricante, expresso em reais por MW gerado; nas últimas três colunas é mostrada a porcentagem aplicada aos impostos, tais como a Circulação de Mercadorias e Serviços (ICMS), o Programa de Integração Social (PIS) e Contribuição para o Financiamento da Seguridade Social (COFINS).

Tabela 16. – Custos para análise e dimensionamento.

Item	Tipo	Valor	Unidade	Meses
Tarifa Energia Elétrica Ligth	Período Seco	1281,53	R\$/MWh	Mai - Nov
Tarifa Energia Elétrica Ligth	Período Úmido	1259,12	R\$/MWh	Dez - Abr
Consumo Específico	Gerador Diesel	0,251	l/kWh	12 meses do ano
Tarifa do Combustível	Diesel	1,8	R\$/l	12 meses do ano
Manutenção do Gerador	Diesel	0,04	R\$/kWh	12 meses do ano
ICMS	Imposto	30%	R\$/mês	12 meses do ano
PIS	Imposto	0,95%	R\$/mês	12 meses do ano
COFINS	Imposto	4,40%	R\$/mês	12 meses do ano

3.5.2

Cálculo de Custos para Dimensionamento dos Geradores

Neste ponto é mostrado o cálculo dos três principais custos para se obter o custo total de geração de energia com o Sistema Híbrido : Custo de Tarifação Seca e Úmida, assim como a incidência de impostos, Custo do Combustível para Geração de Energia e Custo da Manutenção dos Geradores.

Como resultado do correto dimensionamento, a economia resultante da utilização de 1 até 10 geradores é usada para calcular a Taxa Interna de Retorno e o *Payback*, sendo o projeto otimizado.

Tabela 17. – Custos para análise e dimensionamento.

Tarifa Seca-Úmida(ICMS,PIS,COFINS) Custo da EE Adquirida da Light (R\$/mês)	Custo Diesel 1,8 R\$/Litro Custo do combustível R\$/mês	Manutenção 0,04 R\$/kWh Custo de manutenção R\$/mês
43413	5121	453
52958	4432	392
68515	3716	329
93263	4905	434
123079	4634	410
80646	6136	543
150712	8056	713
124549	7608	673
198546	7623	674
187083	7879	697
182179	7753	686
175819	6785	600

Para o cálculo do Primeiro Custo, as tarifas seca e úmida da concessionária local são mostradas na Tabela 16 para os dois tipos. Para o cálculo do ICMS, aplicou-se a equação (2,1) do Capítulo 2, multiplicou-se o total de energia a ser adquirida da concessionária pelo valor do imposto ICMS, que é 30%. A seguir, foi calculada a diferença entre uma unidade e o valor do imposto $(1 - 0,30)$ e, finalmente, calculou-se o ICMS, fazendo-se a relação entre eles. Para o cálculo do PIS e COFINS, calculou-se 0,95% e 4,40%, respectivamente, para cada mês do ano. A somatória destes três cálculos é mostrada na primeira coluna da Tabela 17, como Custo de Tarifa de Energia Elétrica adquirida da Light e se encontra em unidades de (R\$/mês).

Para o Custo do Combustível, multiplicou-se o total da energia fornecida pelo gerador da Tabela 15 pelo consumo específico e a tarifa do combustível da Tabela 16 para todos os meses do ano; este custo se mostra na segunda coluna da Tabela 17 e estão também unidades de (R\$/mês).

Para o Custo de Manutenção, multiplicou-se o total da energia fornecida pelo gerador da Tabela 15 pelo custo de manutenção do gerador da Tabela 16 para todos os meses do ano; os resultados desta operação são mostrados na terceira coluna da Tabela 17 e estão também unidades de (R\$/mês).

Tabela 18. – Somatória dos custos e a economia total mensal.

Somatória de Custos Sistema Híbrido (Grupo Gerador) R\$/mês	Somatória da Economia Economia R\$/mês
48987	18397
57783	16593
72560	14965
98602	19877
128124	20663
87325	23765
159482	33159
132832	30539
206845	33818
195660	34162
190619	33534
183205	29541
Economia Total Anual	309020

Fez-se a somatória dos três custos da Tabela 17 para cada mês do ano, ou seja, somam-se os custos de tarifação com os impostos, custos de combustível e custos de manutenção; os resultados são mostrados na primeira coluna Tabela 18 Somatória de Custos do Sistema Híbrido (Grupo Geradores). Esta somatória está em unidades (R\$/mês). Já para calcular a economia ou perda de cada mês do ano com o funcionamento dos geradores calculou-se a diferença entre o Custo de Energia Consumida pela PUC – Rio (R\$/mês) da quinta coluna da Tabela 14 com a Somatória dos Custos na primeira coluna da Tabela 18; os resultados desta diferença são mostrados na segunda coluna da Tabela 18, denominada de Somatória da Economia. Finalmente, para saber qual

a economia do todo ano fez-se a somatória de todos os meses, como foi mostrado na mesma tabela.

3.5.3 Taxa Interna de Retorno

Uma vez calculada a economia de um determinado ano de operação, o passo seguinte foi utilizar mediante uma poderosa ferramenta usada em análise de investimentos, a taxa mínima de retorno de capital, para que um número desejado de geradores (dimensionamento) seja economicamente viável.

Tabela 19. – Cálculo da Economia e a TIR para um número determinado de Geradores.

Geradores	Potência kW	Economia R\$/ano	Investimento R\$	TIR
1	364	309020	160000	59%
2	728	539753	320000	59%
3	1092	770487	480000	59%
4	1456	984545	640000	59%
5	1820	1165605	800000	57%
6	2184	1295871	960000	53%
7	2548	1380767	1120000	49%
8	2912	1389448	1280000	44%
9	3276	1382839	1440000	40%
10	3640	1376229	1600000	36%

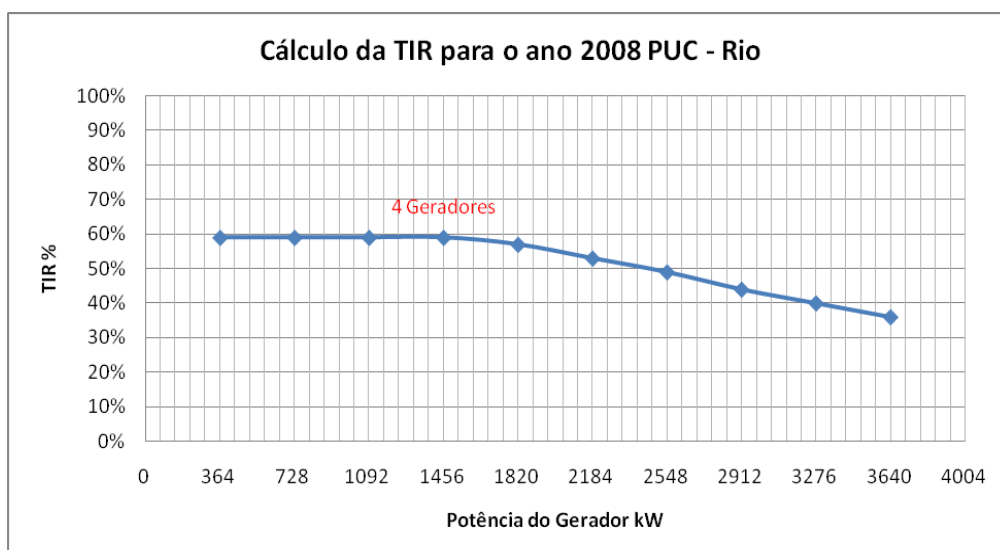


Figura 13. – Taxa Interna de Retorno ano 2008 PUC – Rio

Como é mostrado na Tabela 19, fez-se a simulação para um grupo de um até dez geradores e calcularam-se a suas respectivas economias anuais.

Pode-se notar que na quarta coluna, a TIR apresenta o maior valor com 4 geradores. Isto quer dizer que com um Sistema Híbrido composto por um grupo de quatro geradores de 364 kW cada um se pode conseguir uma economia anual de 984545 R\$/Ano; e com um investimento de R\$ 640000 têm a maior taxa de retorno de investimento com o valor de 59%. Finalmente, o dimensionamento ótimo de Sistema Híbrido para o caso da PUC – Rio seria de quatro geradores.

Na Figura 13, é mostrada a variação da TIR com geradores de um até dez. A TIR com quatro geradores ou o equivalente a 1456 kW, obtém a maior taxa de retorno do investimento (59%).

3.5.4 Payback do Investimento

Como é mostrado na Figura 14, o tempo mínimo de retorno do investimento seria de oito meses com um Sistema composto de quatro geradores.

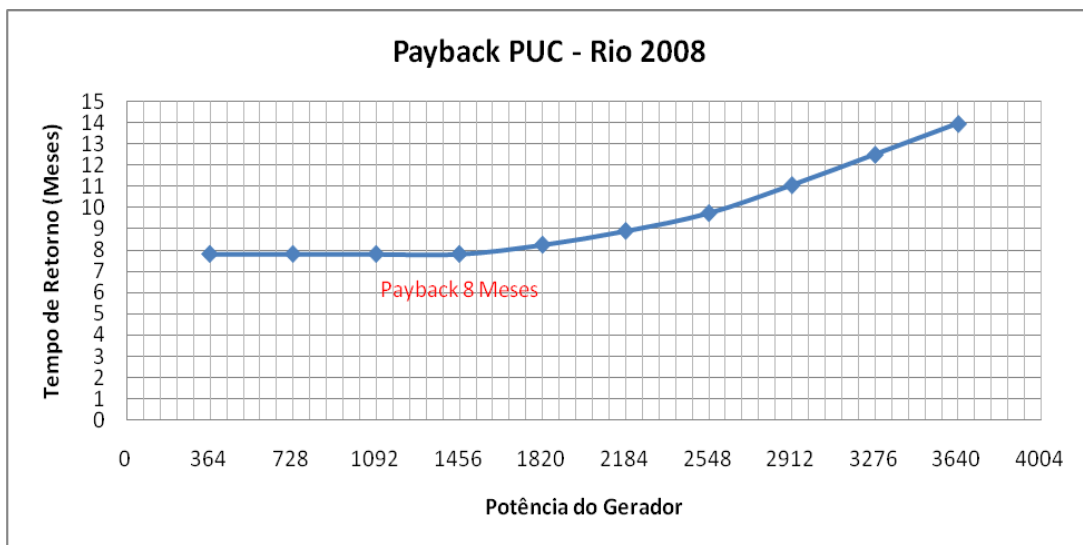


Figura 14. – Tempo mínimo de Retorno do Investimento 2008 PUC – Rio

Finalmente pode-se dizer que como resultado da análise de investimento decisão ótima seria investir em um Sistema Híbrido composto de quatro geradores.

3.5.5

Taxa Interna de Retorno para uma análise econômica com quatro anos de dados de operação

Alem da análise econômica para um ano, fez-se também uma análise econômica tomando em consideração a média de quatro anos de operação. Os dados foram fornecidos pela Prefeitura da PUC – Rio. Este novo cálculo leva em consideração a média das economias dos anos de 2006 até 2009; com isto, tem-se uma análise mais ampla do comportamento do perfil elétrico da instituição, além de uma quantidade maior de dados para a análise econômica de investimentos, tanto para o cálculo da TIR como do *Payback*.

Tabela 20. – Cálculo da TIR para quatro anos de operação

Geradores	Potência kW	Média Economia R\$/ano 2006, 2007, 2008, 2009	Investimento R\$	TIR
1	364	135991	160000	36%
2	728	365298	320000	46%
3	1092	594605	480000	50%
4	1456	696969	640000	50%
5	1820	1025922	800000	51%
6	2184	1208044	960000	50%
7	2548	1305687	1120000	47%
8	2912	1350943	1280000	43%
9	3276	1375489	1440000	40%
10	3640	1393312	1600000	37%

Como é mostrado na Tabela 20, calculou-se o maior valor da TIR, variando-se o número de geradores de 1 até 10. Como resultado, a maior taxa de retorno do investimento seria obtida para 5 geradores. Para o cálculo das economias que compõem o cálculo da TIR, calculou-se a média das economias de quatro anos, dados fornecidos pela PUC – Rio.

Na Figura 15, se mostra que a maior taxa de retorno do investimento é 51% para ter um dimensionamento ótimo com cinco geradores que vão fornecer 1820 kW de potência, então a nossa decisão final segundo a avaliação econômica seria investir em cinco geradores de 364 kW de capacidade cada um para atender a demanda de energia da PUC – Rio.

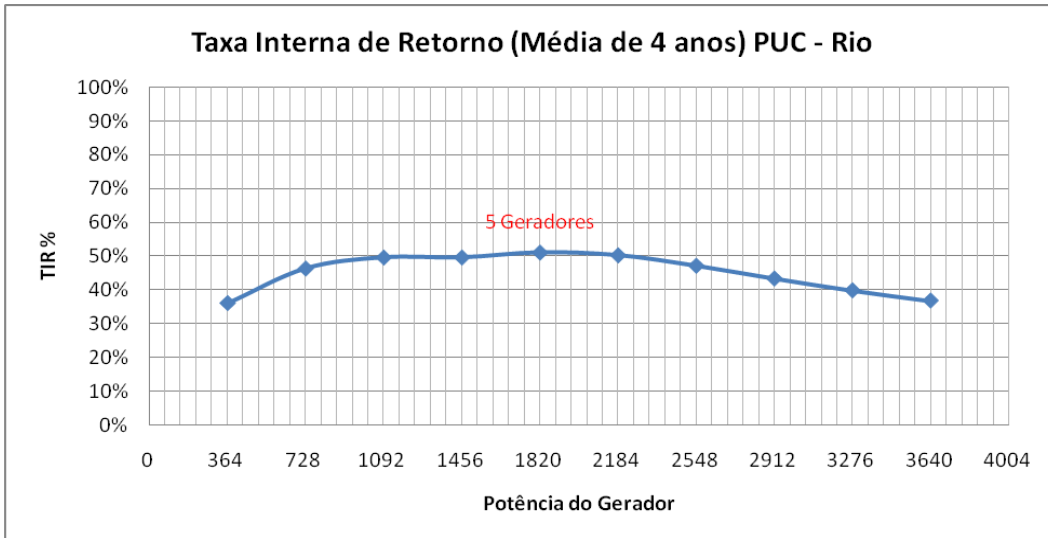


Figura 15. – Taxa Interna de Retorno para com dados de 4 anos, PUC – Rio

3.5.6

Payback para uma análise econômica com quatro anos de dados de operação

A viabilidade técnica e econômica do investimento para a metodologia do Sistema Híbrido proposto pode ser avaliada também pelo tempo de retorno do investimento. Como é mostrado na Figura 16, com cinco geradores (1820 kW) obtém-se um tempo mínimo de retorno do investimento, nove meses e meio.

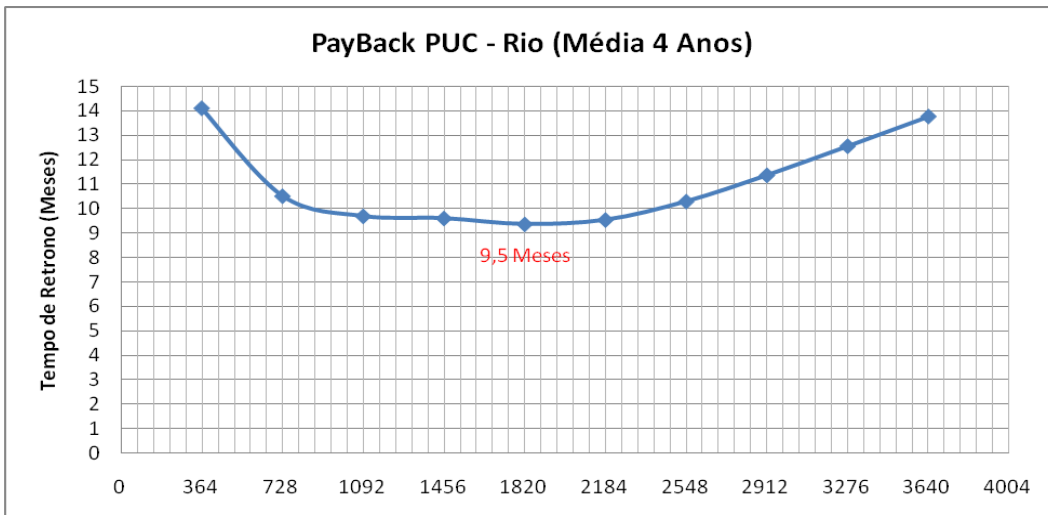


Figura 16. – Tempo mínimo de Retorno do Investimento com dados de 4 anos, PUC – Rio

Finalmente depois de ter os resultados da avaliação econômica pode-se dizer que a metodologia garante ao projetista a tomar as decisões certas para o

correto dimensionamento do sistema, tanto na viabilidade técnica como na viabilidade econômica do sistema.

3.6

Descrição da Metodologia.

A metodologia proposta se resume em dez etapas fundamentais:

1. Solicitar à concessionária local um relatório ou um listado das potências (kW) a cada 15 minutos do perfil elétrico (consumo de energia elétrica) de um mês de operação.
2. Ter um listado das últimas 12 faturas (um ano) de consumo de energia elétrica fornecidas mês a mês pela concessionária, onde indique a máxima demanda mensal (kW), consumo de energia (kWh) e tarifa a ser paga (R\$) por serviços de fornecimento de energia elétrica, em cada uma delas.
3. Ordenar os dados fazendo um listado das potências só no horário de ponta de todo o mês.
4. Determinar para este mês a máxima demanda do horário de ponta (kW) e calcular os intervalos necessários para criar o histograma da Função Densidade de Probabilidade.
5. Com os dados obtidos do histograma da Função Densidade de Probabilidade se faz a Curva de Capacidade Carga com os valores adimensionalizados, tanto para as abcissas (Potência do gerador kW) como para as ordenadas (Energia Requerida kWh).
6. Com a Curva de Capacidade de Carga adimensionalizada para um mês pode-se saber com que capacidade do grupo gerador pode-se fornecer uma determinada energia requerida. Esta relação permite dimensionar o número de geradores para atender a demanda de energia.
7. Para o dimensionamento ótimo do grupo de geradores e com ajuda da curva de Capacidade Carga faz-se uma análise econômica,

levando em consideração duas situações, (i) se a potência do gerador for maior que a demanda requerida ele opera em carga parcial até atingir esta demanda; (ii) se a potência do gerador for menor que a demanda requerida opera em carga plena e a parcela complementar de energia será adquirida da concessionária local.

8. Para garantir a viabilidade técnica e econômica do investimento do projeto, assim como o dimensionamento ótimo do Sistema Híbrido, calcula-se a TIR variando um número determinado de geradores de um até dez, e escolhendo a configuração com maior valor.
9. Finalmente faz-se o cálculo do *Payback* para calcular o tempo mínimo de retorno do investimento.
10. Toma-se a decisão de implementar um Sistema Híbrido para geração de energia elétrica no horário de ponta no setor comercial dimensionando o número ótimo de geradores, garantindo a viabilidade técnica e econômica do sistema.

3.7

Desenvolvimento da uma Segunda Metodologia (Metodologia Alternativa).

A concessionária local fornece mês a mês uma fatura, onde figura a máxima demanda de energia do mês (kW), o consumo de energia em (kWh) e o custo total pelo fornecimento desse serviço (R\$). Muitas vezes, solicitar dados de potências cada 15 minutos de um mês de operação à concessionária local é caro e demora muito tempo para ser fornecido. Ante esta situação, foi desenvolvida uma segunda metodologia que procura dimensionar um número ótimo de geradores para um Sistema Híbrido tendo como dados unicamente as faturas mensais durante um ano de uma determinada instituição no setor comercial e no horário de ponta.

3.7.1

Curva de Capacidade de Carga Constante (Linha Reta)

Ao longo do desenvolvimento da metodologia anterior pode-se observar que o mais importante para se obter o dimensionamento ótimo do Sistema é mediante a análise de dados de perfil elétrico. Ao plotar a Curva de Capacidade de Carga para um mês de operação, pode-se observar esta curva parte do zero, sendo uma linha reta no início. Isto é devido ao fato de que, nesta faixa, o gerador opera sempre em carga plena, com potência sempre menor do que a menor potência de consumo. Para valores maiores de potência do gerador, que opera em carga parcial, ela pode ser aproximada por um polinômio de terceiro grau, escolhido por necessitar de quatro constantes para sua especificação, determinadas com as condições de contorno de mesmo valor e derivada na junção com a linha reta, e máximo valor de potência e derivada zero no final.

Somente com as informações de máxima potência mensal (kW) e máximo consumo de energia mensal (kWh) da fatura fornecida pela concessionária pode-se plotar uma linha reta com variáveis adimensionais, mediante a equação (3,8). Multiplicando a demanda máxima (dado fornecido na fatura mensal da concessionária) pelas horas de operação de um mês (em média de 60 horas para horário de ponta) e calculando a relação entre este resultado e a energia total consumida (dado fornecido na fatura mensal da concessionária) obtém-se um coeficiente angular constante, permitindo plotar uma curva mostrada na Figura 17.

$$\frac{\%E}{\%P} = C = \frac{P_{\max} * H}{EnergiaTotal} \quad (3,8)$$

Onde:

$\%E$ = Energia Requerida (kWh) adimensionalizada.

$\%P$ = Potência do Gerador (kW) adimensionalizada.

C = Constante

P_{\max} = Máxima demanda do mês (kW).

H = Horas de operação mensal, horário de ponta.

$EnergiaTotal$ = Consumo total de energia mensal (kWh).

Para o caso da PUC – Rio, com os dados fornecidos pelas faturas da concessionária mensalmente achou-se uma constante (C), fazendo uso da

equação (3,8) para um determinado mês de operação. Esta constante foi substituída na equação geral da reta $y = mx + b$ para se obter $y = Cx$ e, com isto, calcularam-se os pontos para plotar a linha reta, conforme mostra a Figura 17.

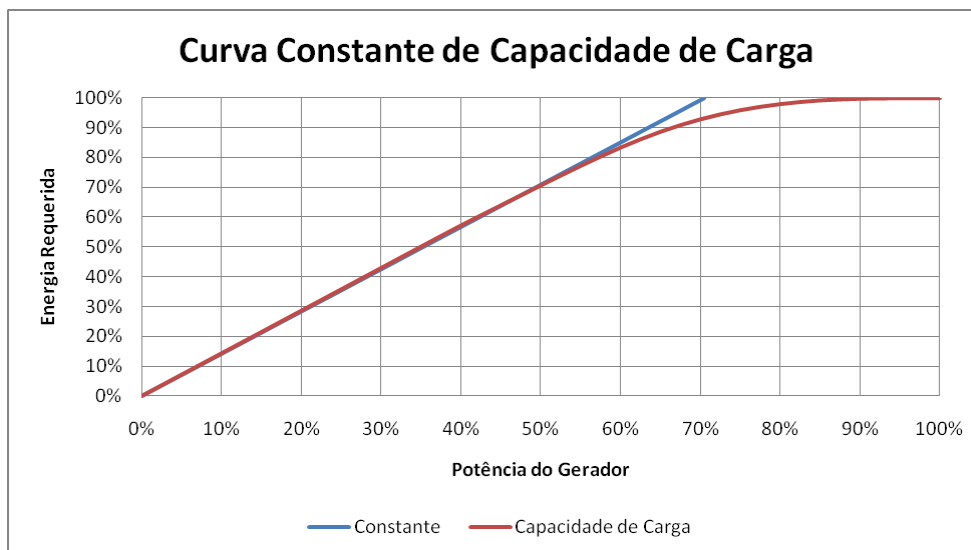


Figura 17. – Curva Constante de Capacidade de Carga (PUC – Rio)

Na Figura 17, pode-se ver que a curva de cor azul é uma curva constante (linha reta), obtida usando a equação (3,9); a curva de cor vermelha é a curva de Capacidade de Carga para um determinado mês do ano, desenvolvida e detalhada na primeira metodologia.

O ponto em que a curva de Capacidade de Carga começa a se afastar da linha reta se localiza, aproximadamente, entre 50% e 70% da potência do gerador, sendo aproximadamente um polinômio de terceiro grau até chegar à potência máxima do gerador e, pelo mesmo motivo, a energia máxima requerida.

3.7.2 Plataforma Computacional EES para solução de equações Polinomiais de Terceiro grau

A plataforma computacional EES (*Engineering Equation Solver*) fornece todas as possíveis soluções numéricas das equações algébricas, equações diferenciais e integrais além de outras aplicações mais complexas.

No desenvolvimento desta segunda metodologia fez-se uso deste *software* para calcular o polinômio de terceiro grau das curvas constantes de capacidade de carga; para isto, foram escolhidos dois pontos para formar o polinômio. O primeiro ponto tem valor de abcissa na faixa entre 0,50 e 0,70 ; o segundo ponto é sempre igual a 1, tanto em abcissa como em ordenada, correspondente a 100% da potência do gerador e da energia requerida.

Então, determinaram-se os dados de entrada para o programa computacional mediante a formulação da equação polinomial de terceiro grau.

$$y = a + b(x) + c(x)^2 + d(x)^3 \tag{3,9}$$

A partir da derivação da equação (3,9) podem-se a gerar quatro equações gerais que vão ser os dados de entrada do EES para calcular o polinômio de terceiro grau para as curvas de capacidade de carga.

Para o primeiro ponto (x_1, y_1) se têm:

$$y_1 = a + b(x_1) + c(x_1)^2 + d(x_1)^3 \tag{3,10}$$

$$\left. \frac{dy}{dx} \right|_{x_1} = b + 2c(x_1) + 3d(x_1)^2 \tag{3,11}$$

Para o segundo ponto (1, 1) se têm:

$$1 = a + b + c + d \tag{3,12}$$

$$0 = b + 2c + 3d \tag{3,13}$$

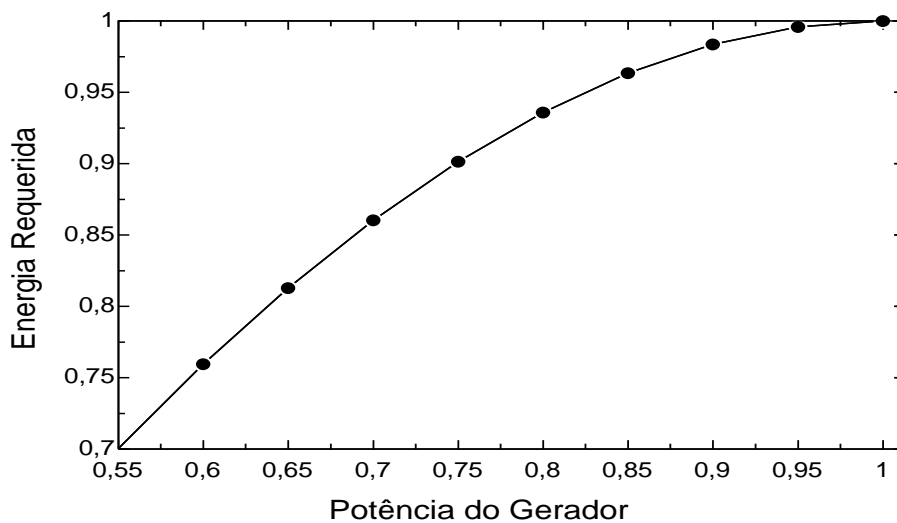


Figura 18. – Polinômio de Terceiro Grau Segundo o Programa (EES)

Fez-se a simulação para um mês determinado do ano usando as quatro equações acima como dados de entrada. A simulação foi feita escolhendo como abcissa um valor na faixa entre 0,50 e 0,70. O valor da ordenada é obtido com a linha reta inicial. Como segundo ponto, utilizou-se sempre 1 para abcissa e ordenada. Comparando-se o valor sobre esta curva ajustada com a dos dados reais, pode-se calcular o desvio médio quadrático. Variando-se o primeiro ponto, foram feitas vinte simulações. O ponto considerado junção entre a linha reta e o polinômio do terceiro grau foi escolhido como o de menor desvio padrão entre os utilizados no processo. Para este mês na PUC – Rio, como se mostra na Figura 18, achou-se que o ponto com o menor desvio médio quadrático tem abcissa igual a 0,55, e ordenada igual a 0,70, a curva é mostrada na Figura 19.

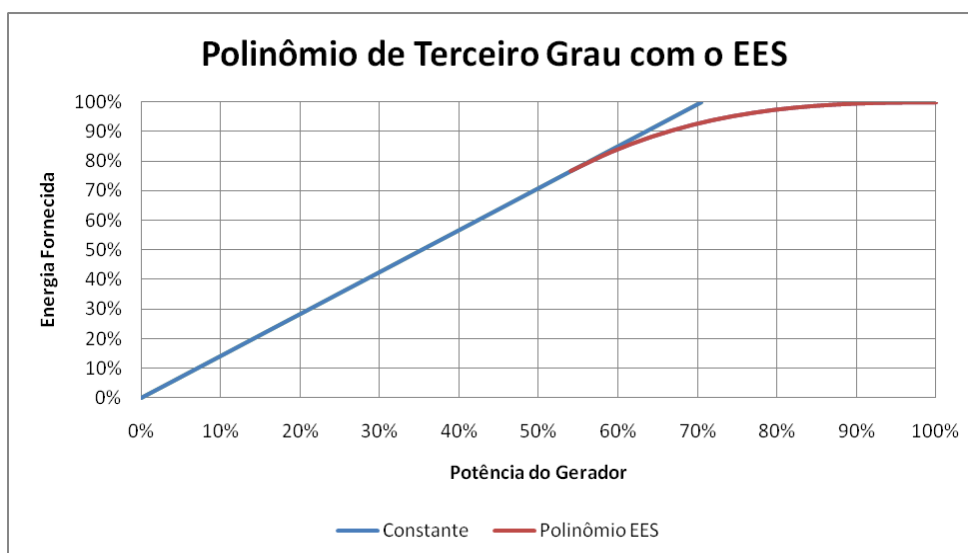


Figura 19. – Polinômio de Terceiro Grau para uma Curva de Capacidade de Carga

O mesmo procedimento foi feito para os seguintes meses do ano, com os dados fornecidos pelas faturas mês a mês da concessionária na PUC – Rio. A análise econômica é então feita, tal como descrito no ponto 3.5 Análise econômica para dimensionamento ótimo dos geradores.

3.8

Determinação de uma constante para definir o Ponto de Início do Polinômio de Terceiro Grau

Esta segunda metodologia funciona para o perfil elétrico da PUC – Rio e com os dados fornecidos nas faturas da concessionária, mas pensou-se na possibilidade de usar esta segunda metodologia em qualquer local ou instituição do setor comercial para horário de ponta. Para isso desenvolveu-se uma equação que permite encontrar um ponto constante ou um ponto na abcissa do que seja sempre o ponto de referência para iniciar o polinômio de terceiro grau e completar a curva de Capacidade de Carga.

O procedimento se inicia pela construção de uma linha reta, definida pela equação (3,8), que é a parte inicial da curva de Capacidade de Carga. Prolongando-se esta reta até a ordenada de 100 % da energia requerida, conforme indicado na Figura 20, determina-se na abcissa um valor de potência que o gerador teria para produzir a energia total consumida no período, em operação de carga plena.

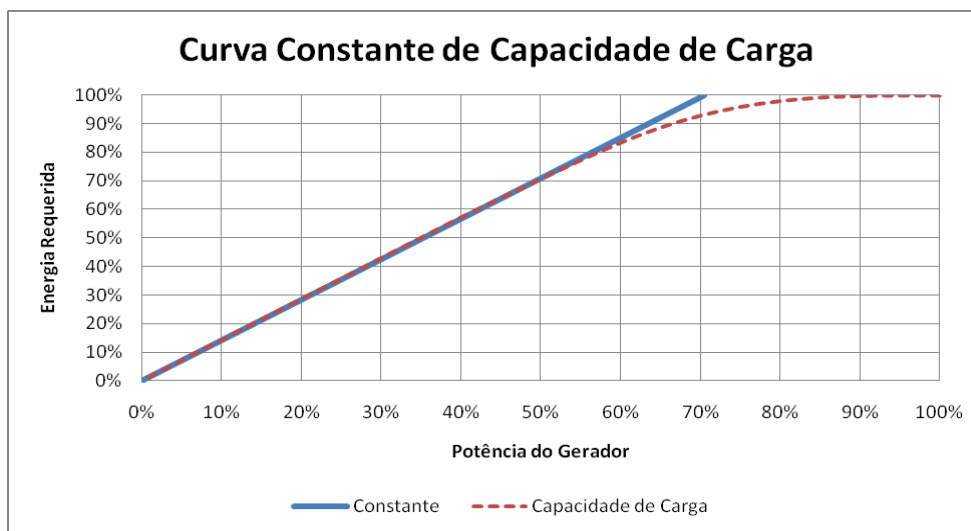


Figura 20. –Potência do gerador em plena carga para produzir 100% da energia requerida

Dividindo-se este valor de potência do gerador em plena carga pelo seu valor correspondente ao início do polinômio do terceiro grau na curva de Capacidade de Carga, obtido pelo processo de minimização do desvio médio quadrático, obtém-se um valor característico do mês, associado ao perfil de consumo. Fazendo-se a mesma operação para todos os meses do ano,

conforme indicado na Tabela 21, obteve-se um mesmo valor de 1,29, que passou a ser considerado característico da instituição. Como consequência deste resultado, pode-se construir uma Curva de Capacidade de Carga apenas com o conhecimento dos valores mensais de demanda máxima e consumo de energia, constantes da fatura mensal da concessionária, sem necessidade de dados a cada 15 minutos. Este procedimento é válido desde que o perfil de consumo se mantenha constante, típico de instalações comerciais e industriais.

Tabela 21. – Cálculo do ponto de referência

Ano 2007	Ponto 100% Energia total	Constante	Ponto Ótimo	Ponto Ótimo Desvio Médio Quadrático	Erro %
jan	70,5	1,29	55	54	-1
fev	43,9	1,29	34	34	0
mar	81,3	1,29	63	62	-1
abr	64,8	1,29	50	50	0
mai	68,3	1,29	53	53	0
jun	78,8	1,29	61	62	1
jul	58,0	1,29	59	60	1
ago	75,5	1,29	59	59	0
set	80,3	1,29	62	62	0
out	70,0	1,29	54	55	1
nov	64,0	1,29	50	50	0
dez	42,9	1,29	33	33	0

A Tabela 21 mostra que o valor da potência do gerador, correspondente ao início do polinômio do terceiro grau na curva de Capacidade de Carga, pode ser calculado pelo procedimento de minimização do desvio médio quadrático e pelo procedimento sugerido, supondo um valor constante de 1,29 para todos os meses do ano, com diferença inferior a 1%.

3.9

Dados de entrada cada 15 minutos para aplicação da Segunda Metodologia em outras instituições.

O mesmo procedimento foi utilizado para construir a curva de Capacidade de Carga em quatro diferentes locais, com perfis de consumo diferentes da PUC - Rio, gerando valores diferentes, que podem ser considerados característicos de cada instituição. Para cada instituição a ser estudada, portanto, um perfil de consumo a cada 15 minutos deve estar disponível para um dado mês do ano, podendo-se construir a curva de Capacidade de Carga pelo procedimento de

minimização do desvio médio quadrático. Usando-se a segunda metodologia, o valor de referência, característico da instituição, e associado ao seu perfil de consumo, pode ser calculado, e considerado o mesmo para todos os outros meses do ano. Desta forma, curvas de Capacidade de Carga para todos os meses do ano podem ser construídas a partir do perfil de consumo a cada 15 minutos para um dado mês e valores mensais de demanda máxima e consumo constante na fatura da concessionária.

3.9.1 Curva de Capacidade de Carga usando a Segunda Metodologia para Empresa Castelo.

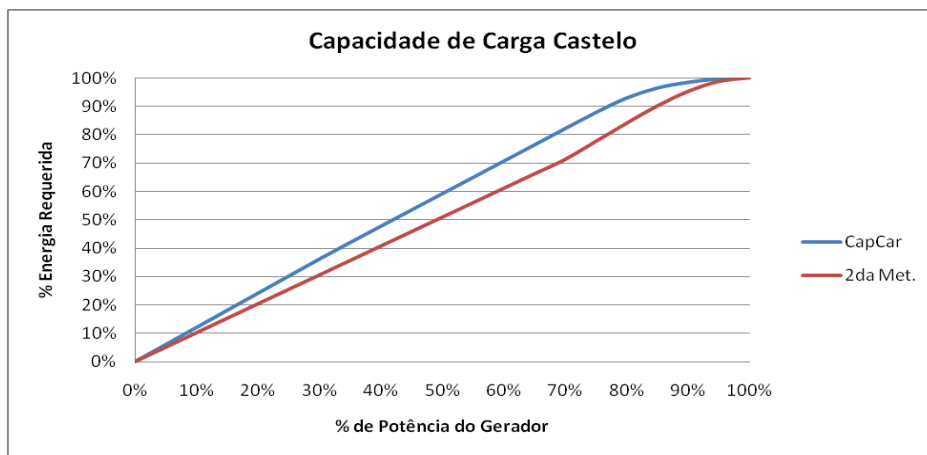


Figura 21. – Curva de Capacidade de Carga para a Empresa Castelo

3.9.2 Curva de Capacidade de Carga usando a Segunda Metodologia para um escritório (Prefeitura).

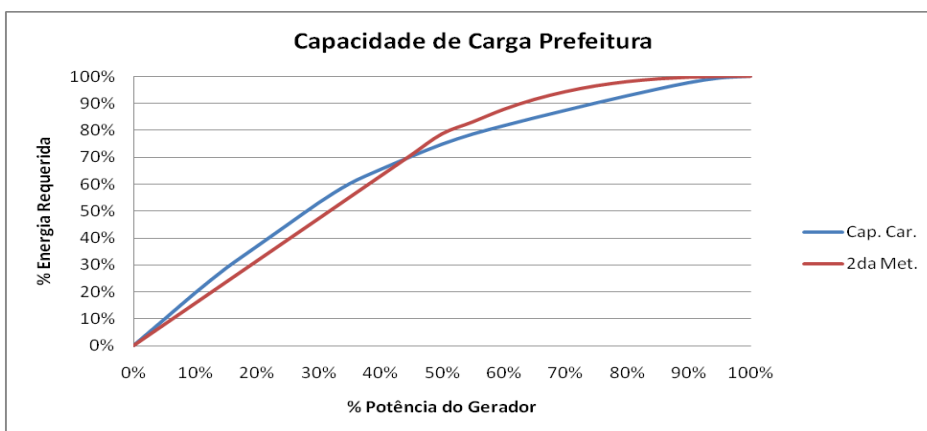


Figura 22. – Curva de Capacidade de Carga para uma Prefeitura

3.9.3

Curva de Capacidade de Carga usando a Segunda Metodologia para um Posto de Gasolina.

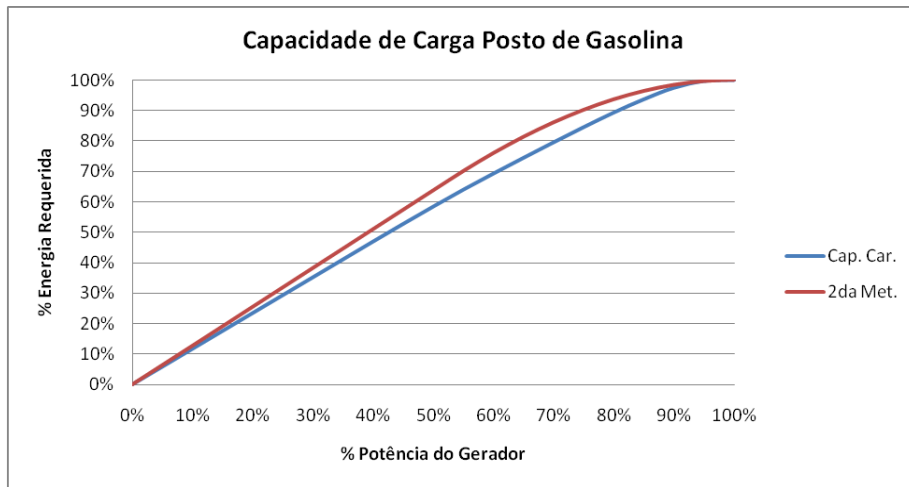


Figura 23. – Curva de Capacidade de Carga para Posto de Gasolina

3.9.4

Curva de Capacidade de Carga usando a segunda metodologia para empresa Engepron.

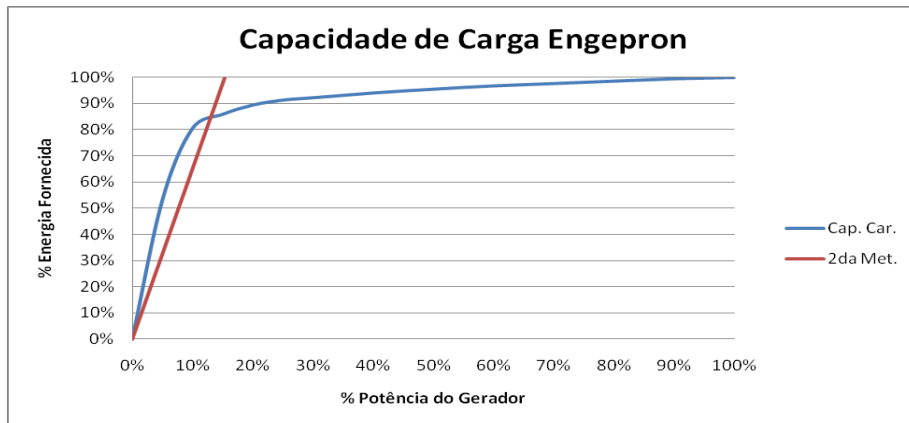


Figura 24. – Curva de Capacidade de Carga para empresa Engepron

Nas Figuras 21, 22 e 23 se observa as Curvas de Capacidade de Carga com os dados de um determinado mês a cada 15 minutos de perfil de carga em kW da cor azul, e a Curva de Capacidade de Carga obtida com a segunda metodologia da cor vermelho. Nota-se que em todas as curvas se tem uma parte constante como é o esperado e a partir de um determinado ponto se tem um polinômio de terceiro grau. Na Figura 24 se mostra a curva de capacidade de carga para empresa Engepron; observa-se que ela mostra uma linha reta constante (cor vermelho) e não uma curva polinomial, isso se deve ao fato de que essa empresa possui um perfil de consumo de energia elétrica diferente aos

perfis das outras empresas, ela apresenta uma demanda muito baixa. Na análise de perfil de consumo para esta empresa observou-se que existem meses do ano em que a demanda é três vezes maior do que a demanda média de consumo. Outro detalhe interessante para esta empresa é que ela atinge o maior consumo de energia elétrica sempre em horários fora de ponta; considerando que a metodologia apresentada está orientada a dimensionar um sistema híbrido para horário de ponta simplesmente pode-se concluir que para esta empresa um gerador de pequena capacidade vai suprir a maioria de energia elétrica.

Para obter a Curva de Capacidade de Carga usando a segunda metodologia com dados de potência (kW) de um mês só a cada 15 minutos primeiro temos que achar uma constante que vai nos permitir obter uma curva constante (linha reta).

Essa curva foi o resultado da relação entre a Potência máxima do Gerador entre a Energia Total Consumida nesse mês de operação, uma vez calculado esse valor se procede a achar um ponto ótimo ou fixo onde a curva vai deixar de ser constante (linha reta) e a partir desse ponto vai começar a formar o polinômio de terceiro grau.

Observa-se que a curva deixa de ser constante sempre entre os pontos 50% e 70% da potência do gerador, então, calculou-se um ponto ótimo nesse intervalo fazendo uma análise ponto por ponto entre 50% e 70% tomando como ponto ótimo o valor de menor desvio quadrático entre eles.

Tabela 22.- Cálculo do Ponto Ótimo para formação do Polinômio

Empresa	Ponto 100% Energia total	Constante	Pto. Ótimo segundo Desvio Padrão
Castelo	0,98	1,36	0,66
Prefeitura	0,64	1,39	0,45
Posto	0,78	1,62	0,53
Engepron	0,10	1,53	0,08

Como se mostra na Tabela 22, o ponto ótimo achado para cada empresa foi diferente, nos poderíamos assumir que para cada uma dessas empresas esse ponto é igual para todos os meses do ano e construir nossa Curva de Capacidade de Carga, mas para isso não temos os dados de todo um ano para validar essa hipótese em cada uma dessas empresas.