

5 Simulação do PLD médio anual

Como a energia elétrica tem a característica de não ser armazenável, o balanço produção-consumo deve ser feito instantaneamente, de forma que pode haver diferenças entre o volume contratado e o consumido. Essa diferença deve ser liquidada no mercado de curto prazo, valorado a um preço que reflita o custo marginal de operação do sistema. Este valor é chamado de Preço de Liquidação de Diferenças (PLD).

Devido a estas características que refletem as diferenças entre montantes energéticos de geração e carga, o PLD se torna fundamental na aplicação nos cálculos das penalidades que um agente de distribuição venha sofrer, pela contratação muito defasada de seu mercado realizado (sobre ou subcontratação).

Através de programas computacionais específicos (*Newave e Decomp*), o valor do PLD é determinado semanalmente, para cada patamar de carga (leve, média e pesada), com base no Custo Marginal de Operação (CMO), limitado por um preço máximo e mínimo vigentes para cada período de apuração e para cada Submercado. Os valores de PLDs semanais podem ser visualizados no site da CCEE. Conforme já mencionado no item 3.1.1.4, o valor do PLD para o ano de 2008 estará restrito ao intervalo R\$ 15,48/MWh (valor mínimo) e R\$ 569,59/MWh (valor máximo) (Fonte: CCEE).

As penalidades são calculadas a partir de um PLD médio, obtido através de uma média ponderada do PLD mensal pela carga dos últimos 12 meses. O PLD mensal é obtido em função dos PLD's semanais publicados pela Câmara de Comercialização de Energia.

De forma resumida, o processo de geração dos PLDs semanais se dá da seguinte maneira:

- O programa *Newave* é rodado na última semana do mês anterior ao mês em questão (que serão definidos os PLDs semanais);
- É obtida então a política de operação em que é gerada a uma "Função de Custo Futuro", de onde se obtém, por exemplo, o "\$ da água", que depende dos níveis de reservatório e das afluências passadas. Oficialmente o *Newave* enxerga um período 5 (cinco) anos à frente;

- A Função de Custo Futuro é utilizada pelo programa *Decomp* que determinará os preços semanais;
- O *Decomp* trata o primeiro mês de modo determinístico fazendo previsões de afluências para cada semana deste mês;
- Nas revisões, também utilizando a mesma Função de Custo Futuro; definem-se os PLDs das semanas e tem-se nesses momentos outras previsões de afluências.

A figura 5.1 abaixo ilustra esse processo de obtenção do PLD semanal:

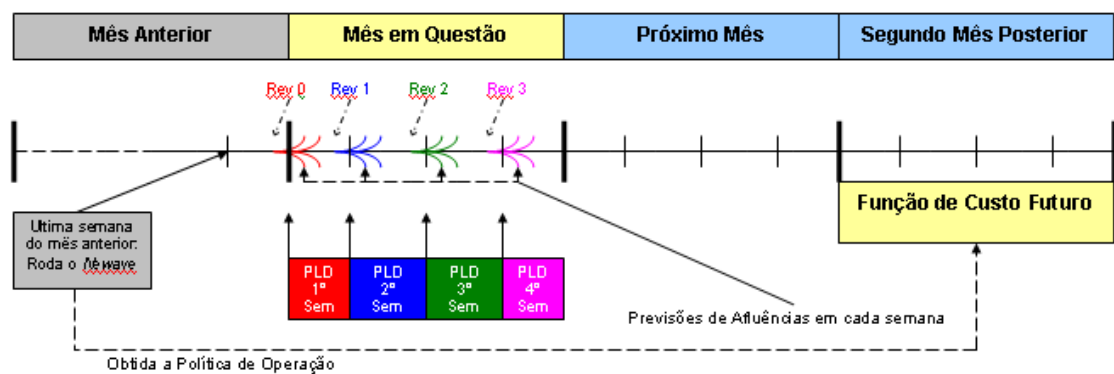


Figura 5.1 – Representação esquemática da geração do PLD semanal

Por fim, para se definir o PLD mensal através dos valores semanais, faz-se uma média ponderada pelo número de horas em cada patamar, em cada semana, dentro de um dado mês.

5.1. Determinação dos PLDs para simulação

Na introdução deste capítulo foi possível conhecer um pouco sobre a geração dos PLDs semanais, publicados pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE) e utilizados nos ambientes de comercialização de energia. Agora neste item, são realizadas as etapas para projeção de PLDs a serem utilizados no modelo de simulação.

Basicamente, os valores dos CMO's equivalem aos valores dos PLD's, isto é, são fortemente relacionados entre si. Entretanto, para ser mais específico, o valor do Preço de Liquidação de Diferenças é igual ao Custo Marginal de Operação Restrito. Isto significa que o PLD e o CMO sempre serão iguais,

exceto quando o valor do CMO estiver fora dos limites máximo e mínimo do PLD, que passam então a ser os valores considerados.

Como o PLD integra o conjunto de fatores que formam os custos dos contratos de energia comercializada em leilões, faz-se necessário dispor de seu valor para fins de cálculo. Os outros fatores, além do PLD, que formam o custo e serão detalhados mais a diante são: a) % contratação de consumo estimada no ano; b) previsão de consumo (MWh); c) desvio padrão do modelo de previsão; d) consumo realizado (MWh); e) valor anual de referência - VR (R\$/MWh); e f) *mix* da distribuidora (R\$/MWh).

Os valores possíveis de PLD médio devem ser incorporados aos cálculos de forma aleatória e serão obtidos por simulações por meio de uma seqüência de procedimentos detalhada abaixo.

5.1.1.

Passo 1: Estimação de fatores sazonais

Foram obtidos 12 fatores sazonais, onde cada um corresponde a um mês do ano. São utilizados para atribuir pesos aos valores mensais de Custo Marginal de Operação (Restrito aos Limites do PLD de 2008) que integram a fórmula de cálculo do PLD médio anual.

Teoricamente, nos períodos úmidos se espera um PLD mais baixo e nos períodos secos um PLD mais alto, entretanto, quando utilizados valores de CMOs médios, não se observa esse perfil sazonal das aflúncias, como pode ser visto na figura 5.2. Portanto, a utilização de fatores sazonais ameniza essa distorção e torna mais adequado o valor do PLD de acordo com o período do ano.

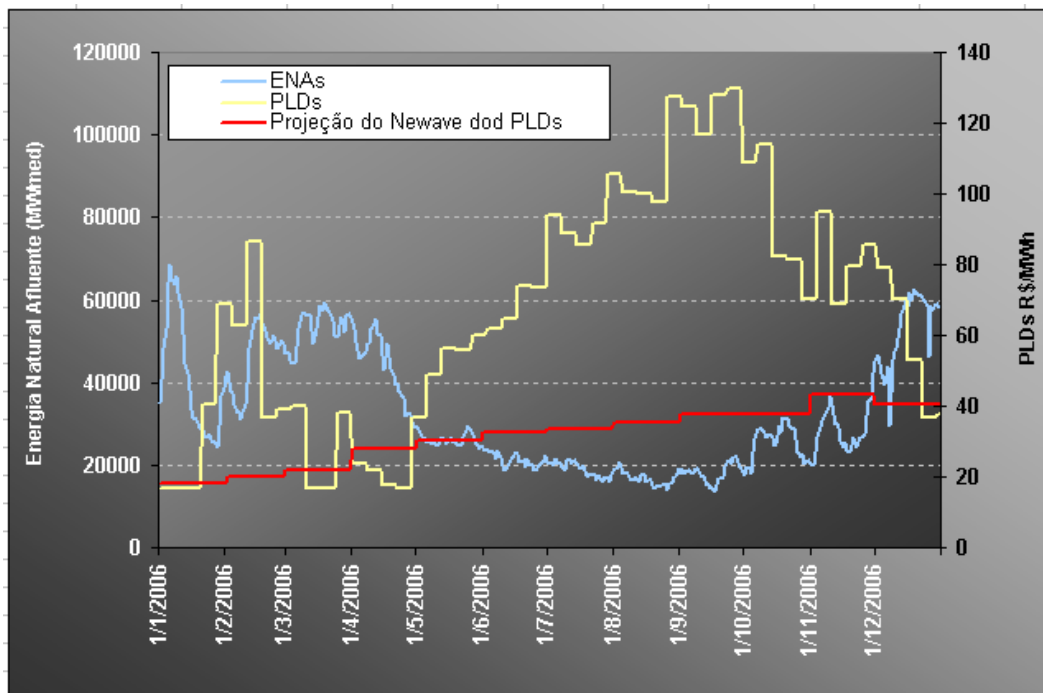


Figura 5.2 – Exemplo do comportamento dos valores dos PLDs reais x PLDs estimados x Energia natural afluente no ano de 2006 (Fontes: ONS / CCEE)

A geração dos fatores sazonais é realizada através do desenvolvimento de um modelo de previsão do consumo de energia do subsistema SE/CO (Região da Distribuidora analisada: RJ). Essa previsão é feita a partir de dados mensais de consumo (GWh) fornecidos pelo Operador Nacional do Sistema referentes ao período de março de 2002¹⁴ a dezembro de 2007. No entanto, o ano de 2007 foi utilizado pelo programa para validação do modelo. Os montantes registrados nos últimos meses de 2007 estão em torno de 23.000 GWh/mês (Fonte:ONS).

O método utilizado para criação do modelo de previsão foi o Alisamento Exponencial com Tendência Linear e Sazonalidade Multiplicativa (Montgomery & Johnson, 1976), e a ferramenta utilizada para esta modelagem foi novamente o *software Forecast Pro*. A seguir é mostrado o gráfico do modelo de previsão e logo em seguida um quadro com os valores dos fatores sazonais multiplicativos obtidos e as estatísticas de desempenho MAPE (%) e R² ajustado (%).

¹⁴ Apesar de estarem disponíveis dados desde o ano 2000, achou-se conveniente considerar somente o período pós-acionamento a fim de se trabalhar com uma série mais comportada, sem a necessidade de intervenções.

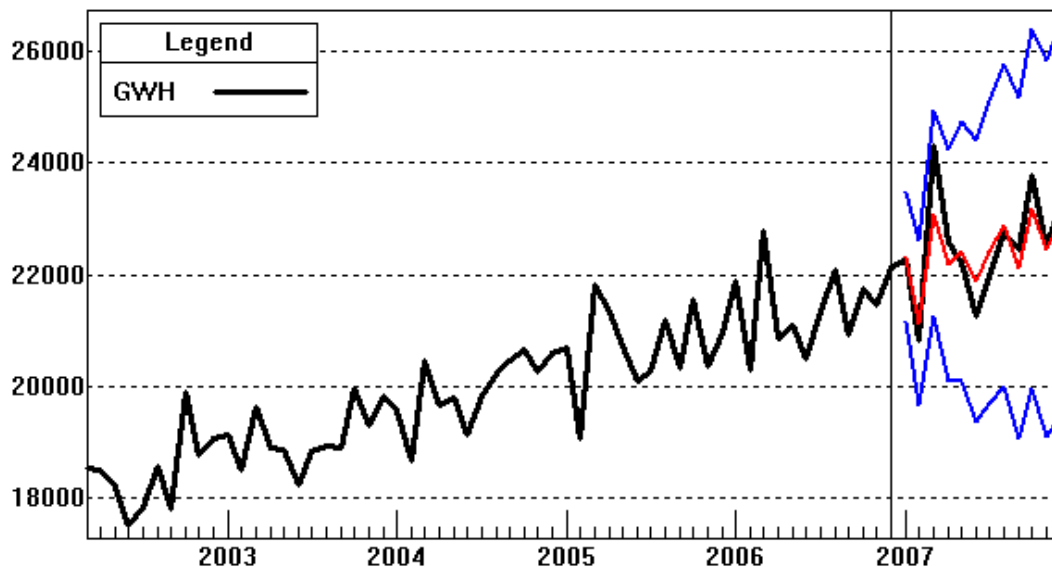


Figura 5.3 – Série de Consumo (GWh) do Subsistema SE/CO (Linha Vermelha: previsão; Linhas azuis: Intervalos de Confiança – limites inferior e superior)

Tabela 5.1 – Fatores Sazonais Multiplicativos Obtidos e os Erros do Modelo

Fatores Sazonais Multiplicativos					
jan	w1 =	1,01348	jul	w7 =	0,99851
fev	w2 =	0,95671	ago	w8 =	1,01592
mar	w3 =	1,04186	set	w9 =	0,97860
abr	w4 =	0,99699	out	w10 =	1,02281
mai	w5 =	1,00476	nov	w11 =	0,98794
jun	w6 =	0,97812	dez	w12 =	1,00717
Estatísticas de Desempenho					
MAPE			R ² ajustado		
1,84%			83,72%		

Nos próximos segmentos do trabalho será visualizada a aplicação dos fatores sazonais multiplicativos para obtenção dos PLD's médios anuais.

5.1.2.

Passo 2: Obtenção dos Custos Marginais de Operação

Nessa etapa foram obtidos, através do programa *Newave* (CEPEL), os valores dos CMO's para o subsistema SE relativos ao período de 2008 a 2012, sendo aplicado o *deck* padrão da Câmara de Comercialização (CCEE) referente ao mês janeiro de 2008. Os arquivos resultantes de simulações geradas, podem ser convertidos para um formato adequado (.txt) através do programa *NWlistop* (CEPEL), para facilitar a manipulação.

Compõem o conjunto de informações trabalhadas: 1) os valores dos patamares de carga (leve, média e pesada) por mês (janeiro a dezembro) para cada ano (2008 – 2012), onde a soma dos três patamares é igual a 1 (um); 2) 2000 séries de CMO's por patamar de carga para cada um dos 60 meses (jan-dez 2008 -...- jan-dez 2012); e finalmente para definir os CMO's a ser considerados, não se definiu um patamar de carga, mas realizou-se uma ponderação dos 3 valores de CMO (2) com os pesos dos patamares¹⁵ (1). Exemplo de Cálculo do CMO referente à série 179 para agosto de 2010:

Patamar 1 (<i>Pesada</i>):	Peso = 0,1048 (<i>Menor Duração</i>)	CMO = 9,19
Patamar 2 (<i>Média</i>):	Peso = 0,5228	CMO = 8,96
Patamar 3 (<i>Leve</i>):	Peso = 0,3724	CMO = 7,73

$$\text{CMO ago/10 final} = 0,1048 \times 9,19 + 0,5228 \times 8,96 + 0,3724 \times 7,73$$

$$\text{CMO ago/10 final} = 8,39$$

Agora, com as 2000 séries de CMO's para os 60 meses, foi possível determinar as 2000 séries de PLD's também para os 60 meses. Simplesmente o PLD de um determinado mês/ano é igual ao CMO equivalente, restrito aos valores limites de PLD: mínimo = R\$ 15,48 / MWh e máximo = R\$ 569,59 / MWh (Fonte: CCEE). Para este estudo, estes limites, que foram definidos para o ano de 2008, serão também estendidos para os anos posteriores até 2012. Exemplo:

$$\text{CMO} = \text{R\$ } 20,00 / \text{MWh} \Rightarrow \text{PLD} = \text{R\$ } 20,00 / \text{MWh}$$

$$\text{CMO} = \text{R\$ } 13,00 / \text{MWh} (< \text{PLDmín}) \Rightarrow \text{PLD} = \text{R\$ } 15,48 / \text{MWh}$$

¹⁵ Esses valores correspondem ao tempo de duração num mês de cada tipo de carga no sistema. Exemplo: Se o patamar 1 de um determinado mês é igual a 0,15, significa que durante este mês, a carga pesada durou 15% do total de horas no mês.

5.1.3.

Passo 3: Determinação do PLD médio anual

Neste momento, é possível calcular o PLD médio anual (2008 - 2012) a partir das séries mensais. A necessidade de calcular este valor médio anual deve-se a sua aplicação nos cálculos das penalidades impostas pela regulamentação em consequência das defasagens entre os contratos de energia das distribuidoras e seu mercado realizado.

São determinadas então 2000 séries de PLD's médios para cada ano, através da fórmula (5-1) abaixo que, conforme antes mencionado, considera os fatores sazonais multiplicativos estipulados. O cálculo é uma média ponderada dos PLD's mensais.

$$PLD_{ANO} = \frac{w_1 PLD_{JAN / ANO} + w_2 PLD_{FEV / ANO} + \dots + w_{12} PLD_{DEZ / ANO}}{12} \quad (5-1)$$

Onde:

- $PLD_{ANO} = PLD_{2008}, PLD_{2009}, \dots$ e PLD_{2012} (para cada série de 1 a 2000);
- w_1, w_2, \dots e w_{12} = Fatores sazonais multiplicativos anteriormente calculados para os meses de janeiro a dezembro respectivamente, utilizados para todos os anos e séries em análise; e
- $PLD_{JAN / ANO}, PLD_{FEV / ANO}, \dots, PLD_{DEZ / ANO}$ = Valores mensais de PLD's para um determinado ano, respectivos a cada uma das 2000 séries disponíveis.

Tabela 5.2 – Quadro demonstrativo contendo as 2000 séries de PLD médio anual

Séries	PLD méd 2008	PLD méd 2009	PLD méd 2010	PLD méd 2011	PLD méd 2012
1	191,41	540,33	111,50	74,41	105,13
2	144,35	76,48	84,30	261,57	25,14
:	:	:	:	:	
2000	264,37	548,61	39,58	18,34	18,33

5.1.4.

Passo 4: Reamostragem das séries de PLD's médios anuais

Como dito anteriormente, o PLD utilizado nos cálculos de custos de contratação não é um valor pré-estabelecido; ele depende de diversas condições do sistema para ser definido e passa a ser, portanto, uma variável

aleatória. Este fato é confirmado posteriormente, visto que os PLD's submetidos às simulações apresentam grande variabilidade. Considerá-los como variáveis fixas, nestas simulações e também nas otimizações de custos, poderia esconder um componente de risco importante. A partir das iterações no processo de simulação, as 2000 séries de PLD's médios de 2008 a 2012 são reamostradas, a fim de se possibilitar a inclusão deste fator como uma componente aleatória do modelo de simulação e otimização de custos, etapas estas que serão abordadas no próximo capítulo.

Utilizou-se para esse procedimento de reamostragem e simulação o programa *@Risk (Palisade Corporation)*. Este programa trata problemas complexos que trabalham com cenários influenciados por incertezas. Distribuições de probabilidade são definidas para as variáveis aleatórias de entrada com o objetivo de incorporar de maneira mais precisa na simulação todos os valores possíveis desses fatores não determinísticos. Entretanto, é necessário ressaltar que não foi definida nenhuma proposição sobre a distribuição de probabilidade do PLD, o que implica a realização da reamostragem a ser gerada pelas simulações, obtendo por fim uma distribuição de probabilidade empírica desse componente.

Destaca-se que, para uma simulação qualquer, é utilizada pelo modelo de reamostragem a mesma série gerada para cada ano do período estudado, isto é, seja numa simulação a série 100 a sorteada, então os PLD's médios de 2008 a 2012 serão calculados a partir dos CMO's dessa mesma série. Esse procedimento, mantém a dependência temporal presente entre os CMO's nos modelos *Newave*, o que deve ser considerado, visto que algumas séries resultam em CMO's elevados ao longo do tempo, característica esta que deve ser preservada no cálculo do PLD médio.

Para reamostragem via simulações, determinou-se que o número da respectiva série de PLD seria simulado através da distribuição uniforme de números inteiros (*RiskIntUniform distribution*), e as células de saída (*output*) seriam os respectivos valores anuais de PLD. Com isto, definiu-se um número de iterações igual a 10.000 para gerar a reamostragem, sendo obtida então a distribuição dos PLD's anuais. São apresentadas a seguir as distribuições de probabilidade, geradas pelo *@Risk*, para os valores anuais de PLD's médios, baseadas na reamostragem aplicada.

O objetivo prático desta etapa é observar, através de distribuição de probabilidade, o comportamento dos possíveis valores do PLD, uma variável importante que faz parte da formação de preços e custos na comercialização

de energia. A simulação e reamostragem possibilitam, com a interpretação dos resultados, um maior conhecimento da influência da variável PLD, quando da aplicação deste fator na simulação e otimização de custos de compra de energia. Não se pode pré-definir a distribuição de probabilidade deste fator, logo, a simulação, através da reamostragem das 2000 séries, torna possível incluí-lo no modelo.

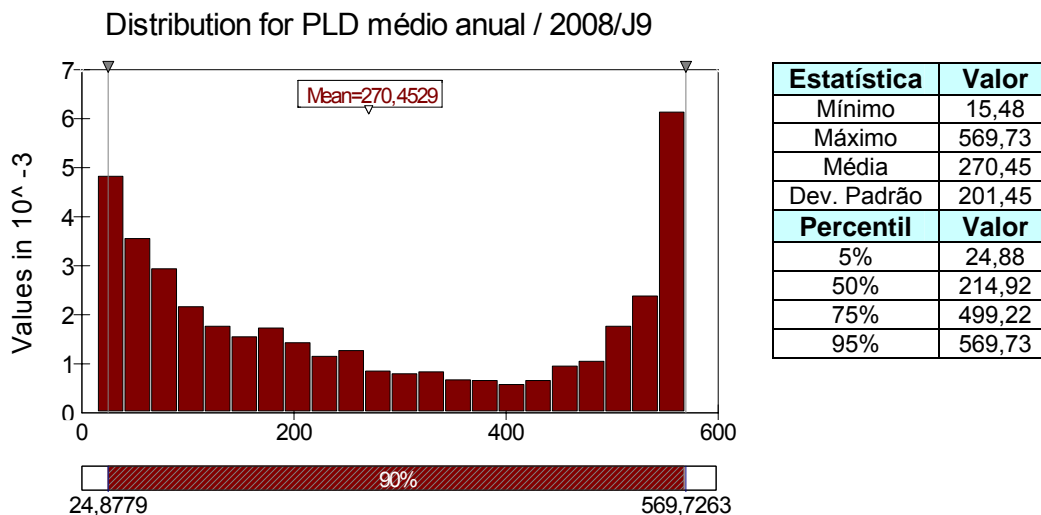


Figura 5.4 – Distribuição e Estatísticas do PLD Médio Anual 2008

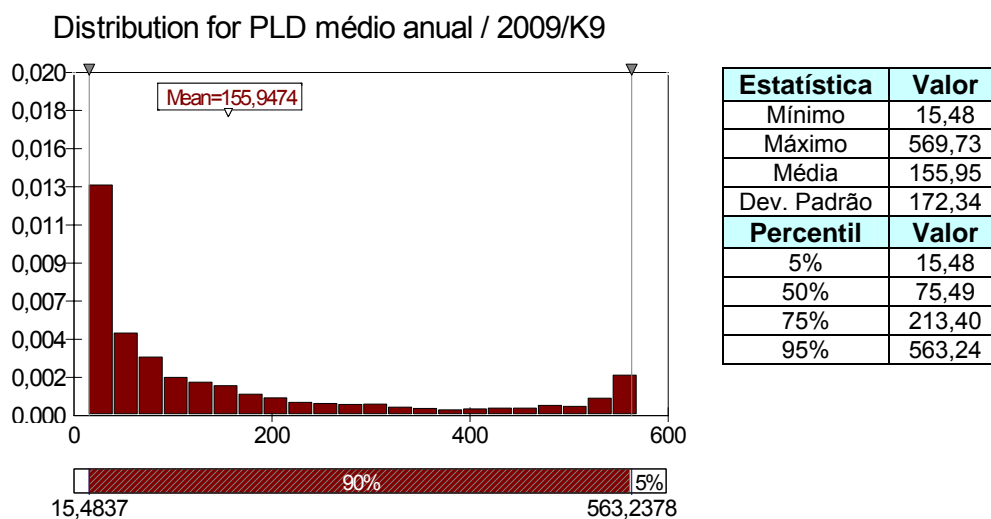


Figura 5.5 – Distribuição e Estatísticas do PLD Médio Anual 2009

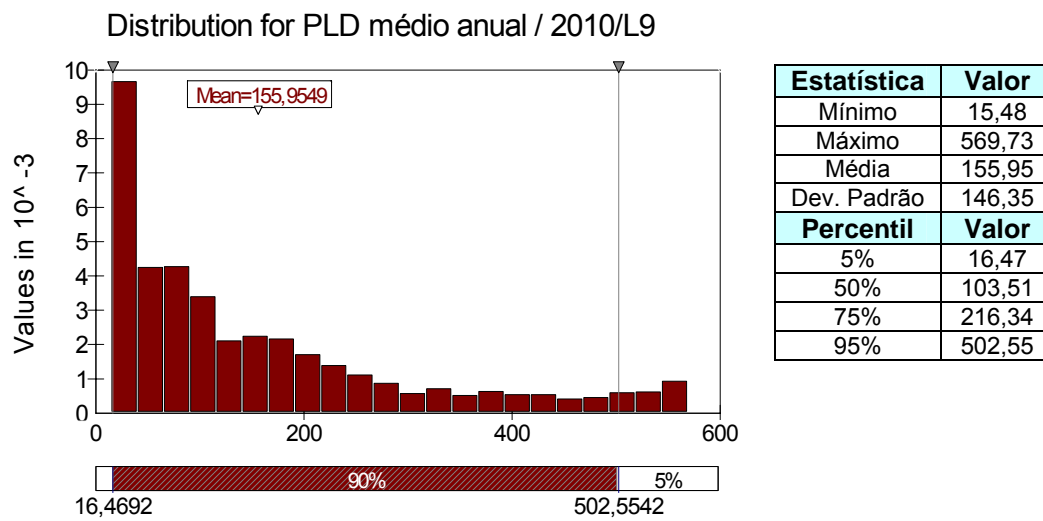


Figura 5.6 – Distribuição e Estatísticas do PLD Médio Anual 2010

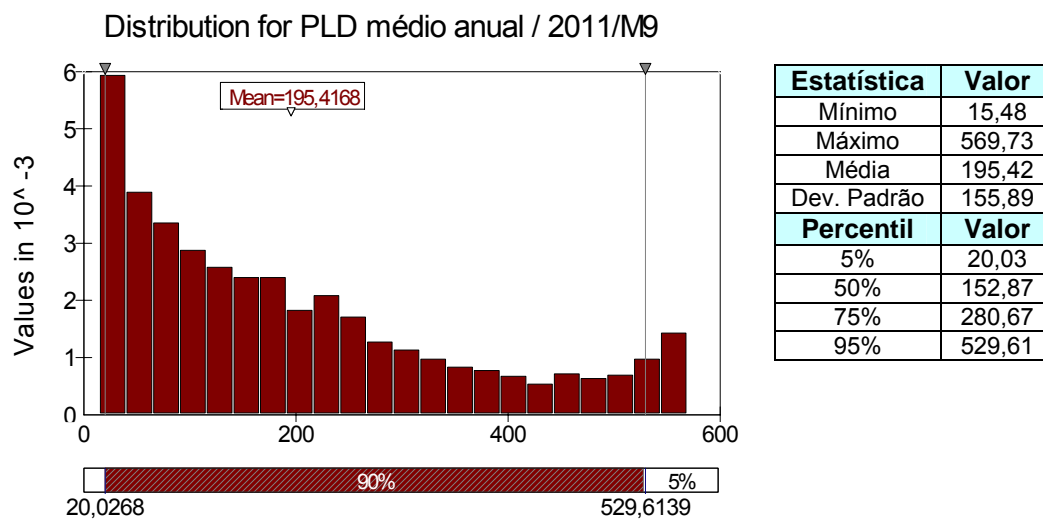


Figura 5.7 – Distribuição e Estatísticas do PLD Médio Anual 2011

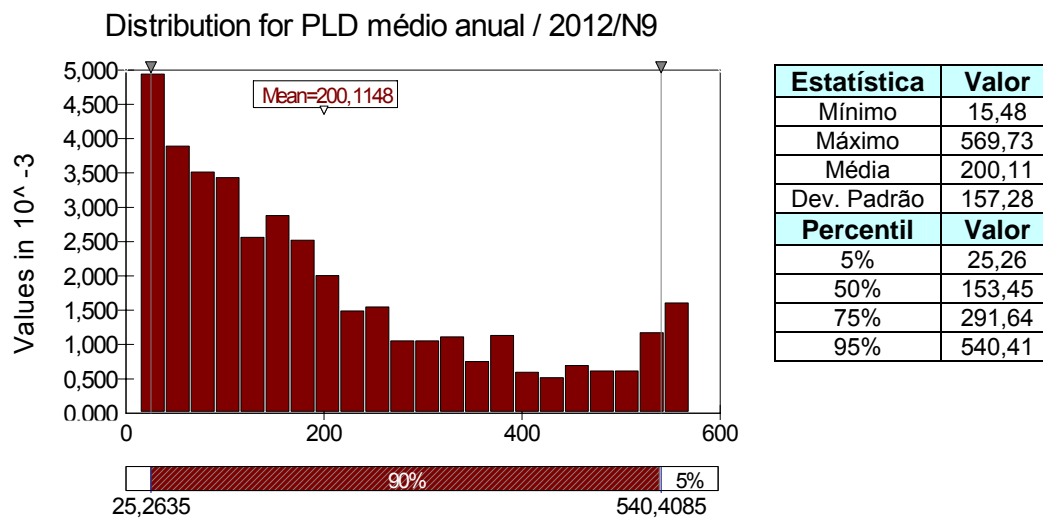


Figura 5.8 – Distribuição e Estatísticas do PLD Médio Anual 2012

Uma conclusão inicial, ao se observar os gráficos gerados, é a assimetria existente nas distribuições de probabilidade, além da ocorrência de alguns valores extremos. Em alguns anos, as distribuições apresentam uma característica bimodal.

Nota-se que os valores máximos das distribuições correspondem ao valor R\$ 569,73/MWh, o que pode parecer estranho visto que o valor máximo de PLD estipulado é de R\$ 569,59/MWh. Esse fato se deve a um erro de arredondamento dos fatores sazonais multiplicativos da carga, cuja soma deveria ser igual a 12, mas é ligeiramente diferente deste valor (12,0029).

A figura 5.9 apresenta um fluxograma básico das etapas descritas neste capítulo para obtenção do PLD médio anual utilizado no modelo de simulação:

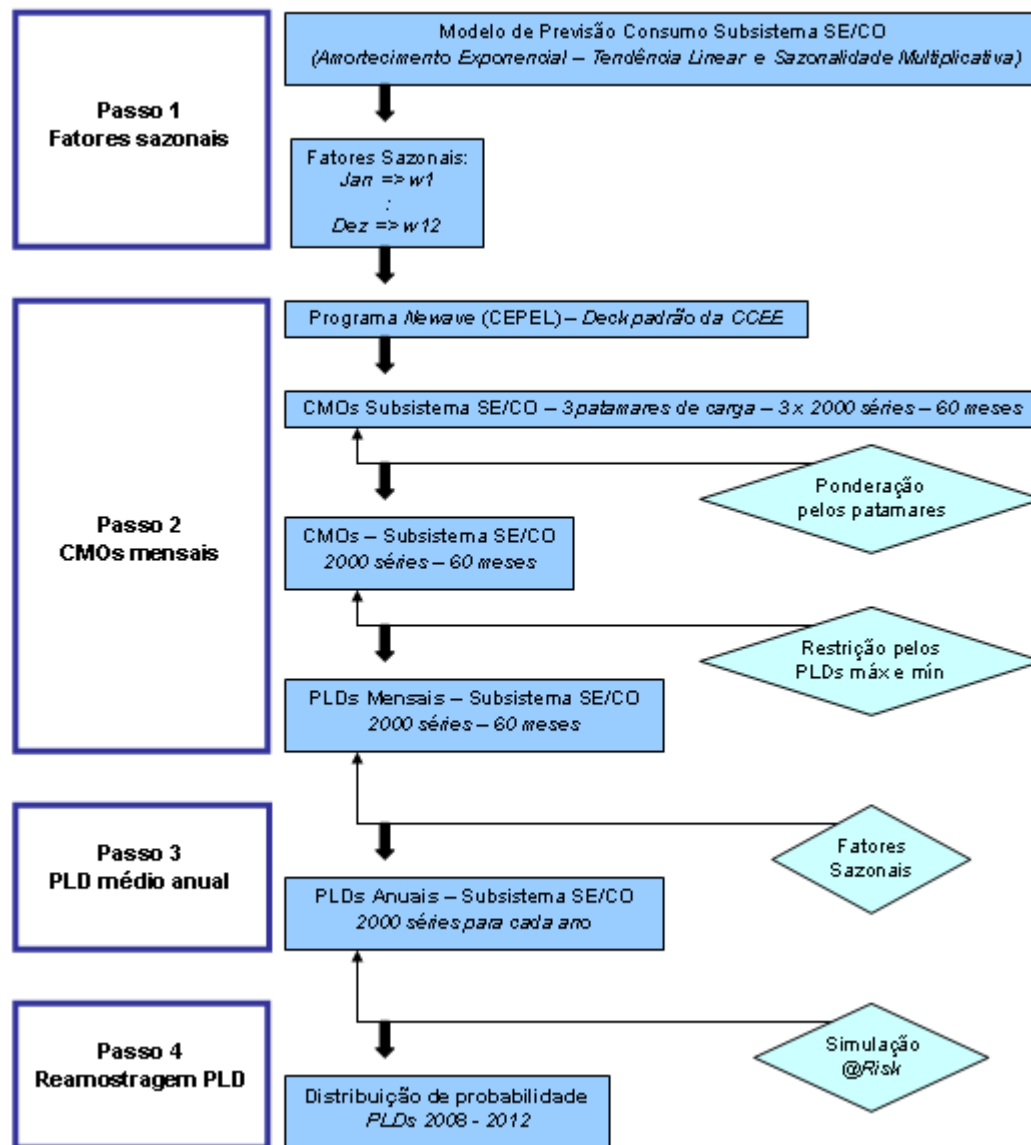


Figura 5.9 – Etapas para obtenção do PLD médio anual