

## 5 Resultados

A decisão de sazonalização foi verificada em diferentes cenários para encontrar a distribuição ótima dos montantes de energia elétrica que a PCH deve entregar em cada mês do ano para maximizar os resultados da carteira de contratos. Neste sentido o perfil de sazonalização ideal que resulta na maximização da medida  $\Omega$  consiste na concentração de toda compra de energia da hidrelétrica no segundo semestre do ano. Entretanto, à medida que são adotadas medidas de controle de risco com restrições mais severas, o grau de liberdade da comercializadora para realizar a sazonalização diminui e a distribuição dos montantes de energia elétrica aproxima-se da uniformidade entre os meses do ano. Além disso, diversas análises de sensibilidade foram realizadas para avaliar o comportamento da medida  $\Omega$  quando os parâmetros de controle de risco (VaR) e a meta (L) variam.

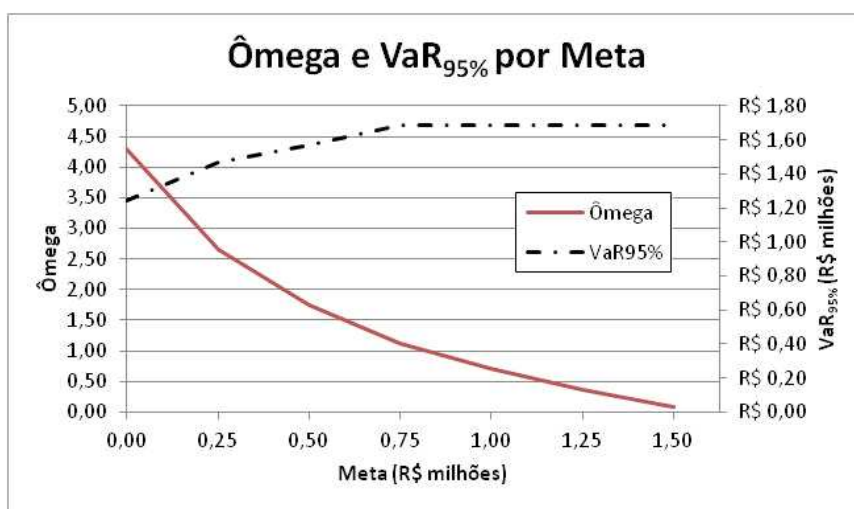
### 5.1. Valores da Medida $\Omega$ e de $\text{VaR}_{95\%}$ para Diferentes Metas (L) nos Casos de Sazonalização Ótima

As empresas comercializadoras que utilizam a sazonalização como operação descasada precisam controlar o risco associado e, conseqüentemente, o tamanho do descasamento. O *Value at Risk* (VaR) é muito utilizado por estes agentes para controlar a exposição ao risco de mercado. Nesta seção o comportamento da medida  $\Omega$  e do  $\text{VaR}_{95\%}$  em função da meta de lucro L é demonstrado.

Realizando a sazonalização do contrato de compra de energia elétrica da PCH com o objetivo de maximizar a medida  $\Omega$  foram obtidos os resultados ilustrados na Figura 7 sem restrição de VaR (sem controle de risco) e considerando a variação da meta de lucro L de 0 a R\$1,5 milhões. Os valores do  $\text{VaR}_{95\%}$  em relação à variação da meta L também são mostrados na Figura 7. A decisão de sazonalização ótima encontrada será detalhada na seção 5.6.

Na Figura 7 é possível observar que uma sazonalização ótima pode render cerca de R\$800 mil no ano com  $\Omega$  igual a um, ou seja, existindo uma relação de 1:1 entre perdas e ganhos. O valor de  $\Omega$  aproxima-se cada vez mais de zero à medida que o limite L varia entre R\$1 milhão e R\$1,5 milhões.

Já o  $\text{VaR}_{95\%}$  apresenta pouca variação com o aumento do limite L partindo de algo em torno de R\$1,25 milhão e estabilizando-se na marca de R\$1,7 milhão aproximadamente. A adoção de valores maiores de  $\text{VaR}_{95\%}$ , isto é, a diminuição da restrição de controle de risco, possibilita o alcance de metas L mais ousadas. Enquanto que a redução do  $\text{VaR}_{95\%}$  acarreta um controle de risco mais severo e restringe os valores de L que podem ser atingidos.



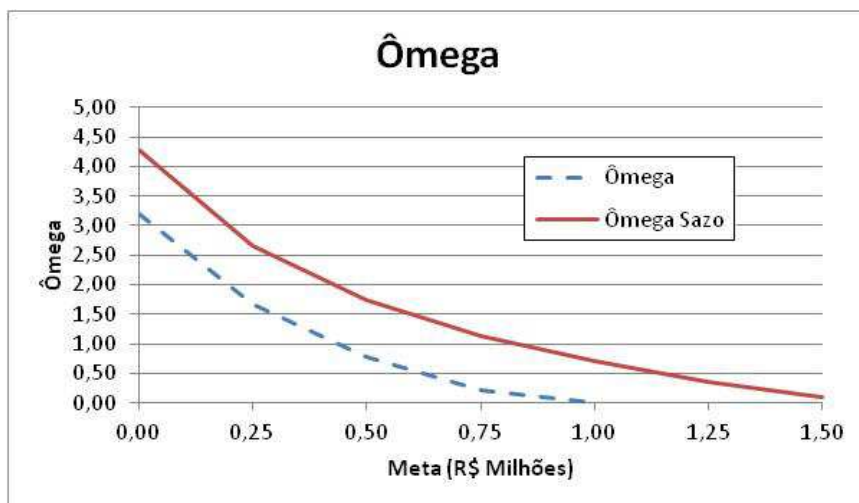
**Figura 7 - Ômega e  $\text{VaR}_{95\%}$  variando meta.**

Fonte: elaboração própria.

## 5.2.

### **Variação da Medida $\Omega$ sem Restrição de $\text{VaR}_{95\%}$ , Quando se Adota a Sazonalização Ótima**

Na Figura 8 podemos observar os valores da medida  $\hat{\Omega}$  obtidos para a carteira quando o contrato distribui a energia elétrica comprada em montantes mensais uniformes (sem sazonalização) e quando ocorre a sazonalização ótima do mesmo. A meta L varia de zero a R\$1,5 milhão de reais. Os valores da medida  $\Omega$  obtidos são maiores quando a sazonalização ótima é realizada demonstrando que é possível alcançar maiores lucros utilizando esta flexibilidade. Não há restrição de VaR, portanto, o controle de risco não foi considerado nos cálculos.



**Figura 8 – Ômega em relação à sazonalização.**

Fonte: elaboração própria.

### 5.3.

#### **Variação da Medida $\Omega$ sem Restrição de $VaR_{95\%}$ Considerando apenas Contratos de Compra de Energia Eólica**

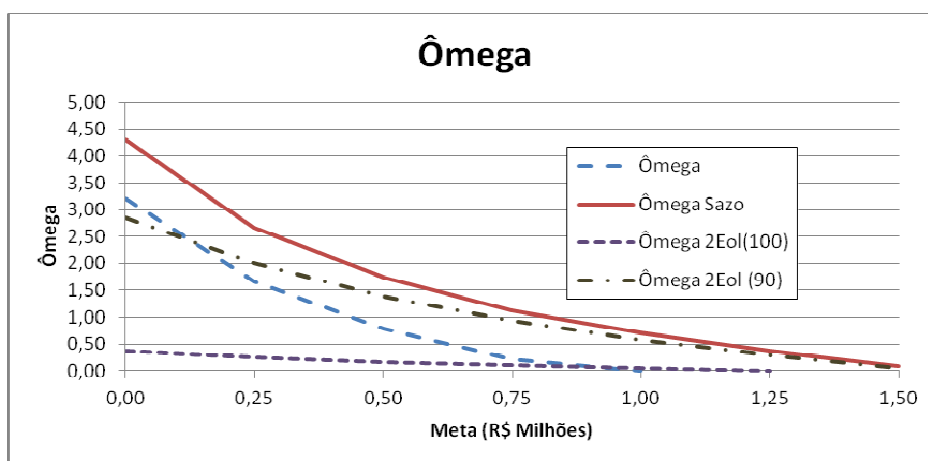
A Figura 9 compara as curvas dos valores da medida  $\Omega$  encontrados no item 5.2 com a curva de valores  $\Omega$  para o caso em que o contrato de fornecimento de energia da PCH é substituído por um contrato de compra de energia de uma segunda usina eólica com as mesmas características da primeira e utilizando o mesmo perfil de ventos.

Os valores de  $\Omega$  para a carteira composta de contratos de compra de energia de duas usinas eólicas, considerando o preço de compra da energia eólica igual a R\$100,00 (valor original do contrato), estão muito próximos de zero no intervalo de variação da meta  $L$  de zero a R\$1,5 milhão de reais. O valor de  $\Omega$  considerando  $L$  igual a R\$750 mil é 0,1, por exemplo. Isto ocorre devido ao fato da energia proveniente das eólicas ser comprada a R\$100,00 e o preço de venda contratado ser R\$90,00. Nos últimos 6 meses do ano, período em que as velocidades dos ventos são maiores, grande parte dos 30 MW<sub>med</sub> mensais que devem ser entregues pela comercializadora a R\$90,00 são adquiridos das usinas eólicas (ao valor de R\$100,00) acarretando prejuízos. A energia excedente gerada pelas eólicas neste período é vendida a PLD+ágio, o que agrava o cenário deficitário, pois a média dos PLDs simulados é R\$50,46 (o preço de venda seria R\$70,46 acrescentando o ágio de R\$20,00) para o segundo semestre do ano. Já nos

primeiros 6 meses do ano, período em que as velocidades dos ventos são menores, a comercializadora precisa adquirir uma parcela dos 30 MWmed, que devem ser entregues mensalmente, ao valor do PLD+ágio. A média dos PLDs simulados para o primeiro semestre é R\$40,26 (o preço de venda seria R\$60,26 acrescentando o ágio de R\$20,00), o que possibilita auferir lucros. O resultado anual da carteira, portanto, fica próximo de zero e os cenários em que o mesmo é positivo são raros.

Na Figura 9 também está representada a curva dos valores de  $\Omega$  para o caso do fornecimento de energia apenas por eólicas e considerando R\$90,00 como o preço de venda da energia eólica. Os valores de  $\hat{\Omega}$  encontrados neste cenário são maiores, pois o preço de venda da energia eólica iguala-se ao preço de venda contratado. Os resultados encontrados superam os da carteira composta de contratos de compra de energia de apenas uma usina eólica e da PCH, sem sazonalização, para a maioria das metas L estabelecidas.

A Figura 9 evidencia, entretanto, que a adoção da carteira composta de contratos de compra de energia de uma PCH e de uma usina eólica possibilita a obtenção dos maiores lucros, se for utilizada a flexibilidade da sazonalização.



**Figura 9 –  $\hat{\Omega}$  para contratos com duas usinas eólicas**

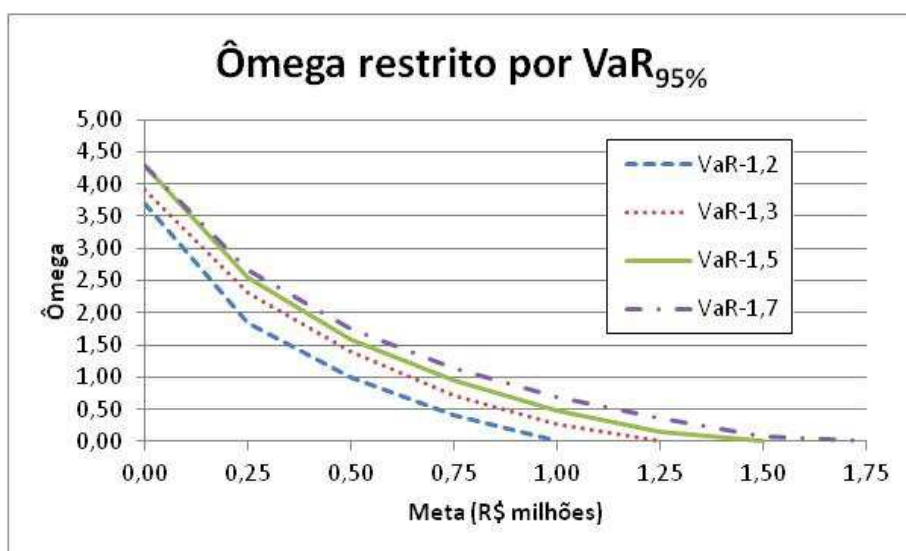
Fonte: elaboração própria

#### 5.4.

##### Valores da Medida $\Omega$ Fixando o $VaR_{95\%}$

Na Figura 10 é possível verificar os diferentes valores assumidos por  $\Omega$  à medida que adotamos restrições diferentes para  $VaR_{95\%}$  e quando o limite  $L$  varia entre zero e R\$1,75 milhão. Conforme pode ser observado na Figura 10, foram geradas quatro curvas para  $\Omega$  com as restrições de  $VaR_{95\%}$  variando entre R\$1,2 milhão e R\$1,7 milhão e realizando a sazonalização ótima. Valores de  $VaR$  menores significam condições mais rígidas de controle de risco e menor grau de liberdade para realizar a sazonalização.

Restrições mais severas de  $VaR_{95\%}$  correspondem a valores menores da medida  $\Omega$  e restringem a possibilidade de se alcançarem maiores lucros com a sazonalização ótima.



**Figura 10 – Ômega restrito por  $VaR_{95\%}$ .**

Fonte: elaboração própria.

#### 5.5.

##### Sensibilidade da Medida $\Omega$ aos Preços Contratados

Os valores de 80, 90 e 100 R\$/MWh foram fixados para  $P_h$ ,  $P_v$  e  $P_{eol}$ , respectivamente, para encontrar os valores da medida  $\Omega$  representados nas Figuras 8, 9 e 10. Na Figura 11 procurou-se verificar a sensibilidade de  $\Omega$  aos preços fixados nos contratos através da comparação de três curvas:

- Uma curva da medida  $\Omega$  mantendo os valores contratuais originais de  $P_h$  (80 R\$/MWh),  $P_v$  (90 R\$/MWh), e  $P_{eol}$  (100 R\$/MWh);
- Uma curva da medida  $\Omega$  diminuindo o valor de  $P_v$  (preço de venda da energia elétrica) para 80 R\$/MWh;
- Uma curva da medida  $\Omega$  reduzindo em cerca de 10% os valores de  $P_h$ ,  $P_v$  e  $P_{eol}$ ; que passaram a ser 70, 80 e 90 R\$/MWh respectivamente.

A Tabela 5 mostra o resumo dos valores adotados para gerar as curvas de  $\Omega$  da Figura 11.

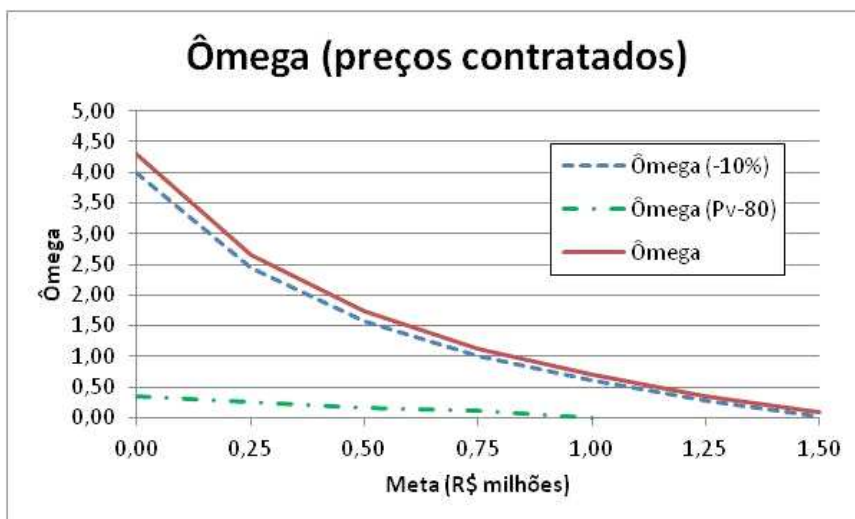
**Tabela 5 - Variação de preços contratados.**

|           | $\Omega$   | $\Omega'$ ( $P_v=80$ ) | $\Omega''$ (-10%) |
|-----------|------------|------------------------|-------------------|
| $P_v$     | R\$ 90,00  | R\$ 80,00              | R\$ 80,00         |
| $P_h$     | R\$ 80,00  | R\$ 80,00              | R\$ 70,00         |
| $P_{eol}$ | R\$ 100,00 | R\$ 100,00             | R\$ 90,00         |

**Fonte: elaboração própria.**

Além da sazonalização, o PLD é o outro fator que influencia os resultados da medida Ômega em análise. Tendo em vista que a média dos valores dos PLDs para o período considerado foi 45,36 R\$/MWh, que totaliza 65,36 R\$/MWh adicionando-se o valor do ágio (R\$20,00), os preços contratuais foram reduzidos para se aproximar deste valor.

Na Figura 11 fica aparente que a simples redução do  $P_v$  (preço de venda) para R\$80,00 diminui muito a margem de lucros possível para a carteira e conseqüentemente levou a valores muito baixos de  $\Omega$ . Já com a redução de todos os preços contratuais em cerca de 10% a curva encontrada para  $\Omega$  teve comportamento semelhante ao da curva gerada pelos preços originalmente considerados, porém com valores da medida Ômega um pouco inferiores.



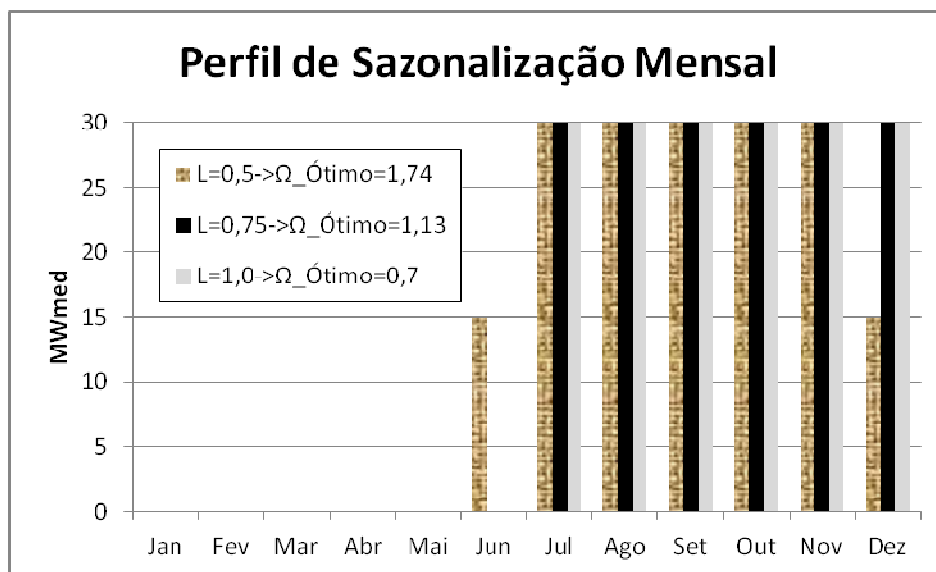
**Figura 11 – Sensibilidade de  $\Omega$  aos preços contratuais.**

Fonte: elaboração própria.

## 5.6. Decisão de Sazonalização

Tendo em vista as análises realizadas anteriormente, com o objetivo de determinar a decisão ideal de sazonalização do contrato de compra de energia da usina hidrelétrica, foram geradas as distribuições dos montantes mensais de energia considerando diversos cenários.

A Figura 12 mostra a sazonalização ótima para as metas de lucros anuais (L) de R\$500 mil, R\$750 mil e R\$1 milhão, sem considerar restrições de VaR. É possível observar que para as metas de R\$750 mil e R\$1 milhão as distribuições encontradas são idênticas, com os montantes de energia elétrica concentrados no últimos seis meses do ano (de julho a dezembro). A distribuição relativa à meta anual de R\$500 mil ainda apresenta 15MWmed nos meses de junho e dezembro, mas no restante do período coincide com os montantes encontrados para R\$750 mil e R\$1 milhão. Na ilustração da legenda da Figura 12 existe a informação da meta L considerada e do valor da medida  $\hat{\Omega}$  encontrado. A meta de R\$500 mil, por exemplo, corresponde ao valor de 1,74 da medida  $\Omega$ .



**Figura 12 – Perfil de Sazonalização sem VaR.**

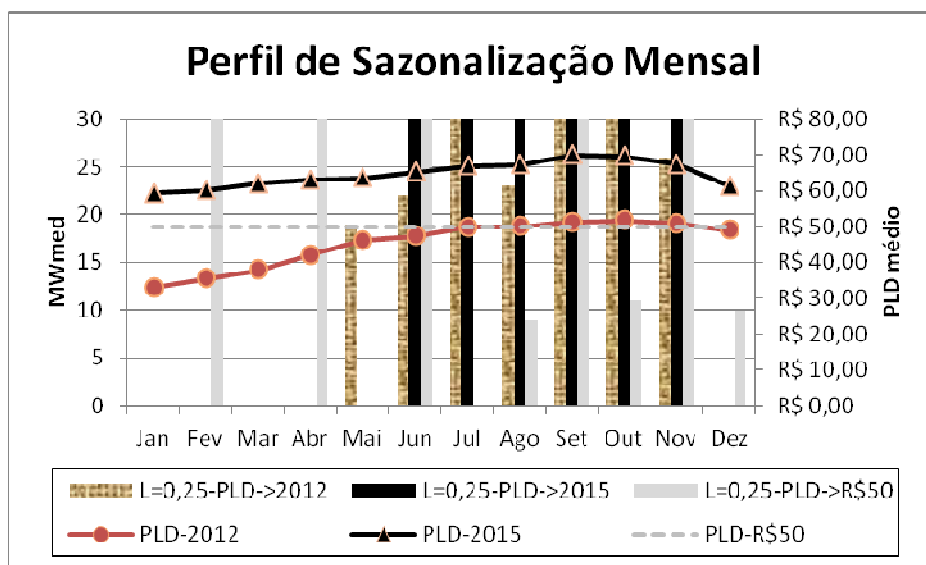
Fonte: elaboração própria.

Nos meses de julho a dezembro os valores médios dos PLDs simulados são superiores aos dos encontrados para os seis primeiros meses do ano, o que faz a venda do excedente de energia no mercado de curto prazo gerar maiores lucros. No segundo semestre maiores montantes de energia podem ser vendidos como excedente, pois a produção da usina eólica atinge seus maiores valores neste período. Já nos meses de janeiro a junho, nos quais os valores médios dos PLDs simulados são menores e a produção de energia pela usina eólica é menor, a compra de energia no mercado de curto prazo e sua venda ao valor contratado de R\$90,00 possibilitam alcançar maiores lucros. Assim, considerando os valores dos PLDs simulados neste estudo, os melhores resultados da carteira de contratos são obtidos através da venda do montante máximo de energia excedente no segundo semestre do ano e da compra da maior quantidade possível de energia no mercado de curto prazo no primeiro semestre para vender ao valor contratado de R\$90,00.

A Figura 13 mostra os perfis de sazonalização ótimos, para a meta  $L$  fixada em R\$250 mil, correspondentes aos três cenários abaixo:

- Perfil de sazonalização ótimo considerando os valores de PLDs simulados de 2012, os quais foram utilizados para realizar as análises deste estudo;
- Perfil de sazonalização ótimo considerando outros valores de PLDs simulados, os preços são projeções para 2015;
- Perfil de sazonalização ótimo adotando o valor fixo de R\$50,00 para o PLD.

Na Figura 13 é possível observar que as médias dos valores dos PLDs simulados para 2012 e 2015 são maiores a partir do mês de junho e que os montantes de energia da PCH concentram-se nos meses de junho a novembro. Entretanto, considerando o valor fixo do PLD em R\$50,00 durante todo o ano, há concentração dos montantes de energia da PCH em alguns meses do primeiro semestre.



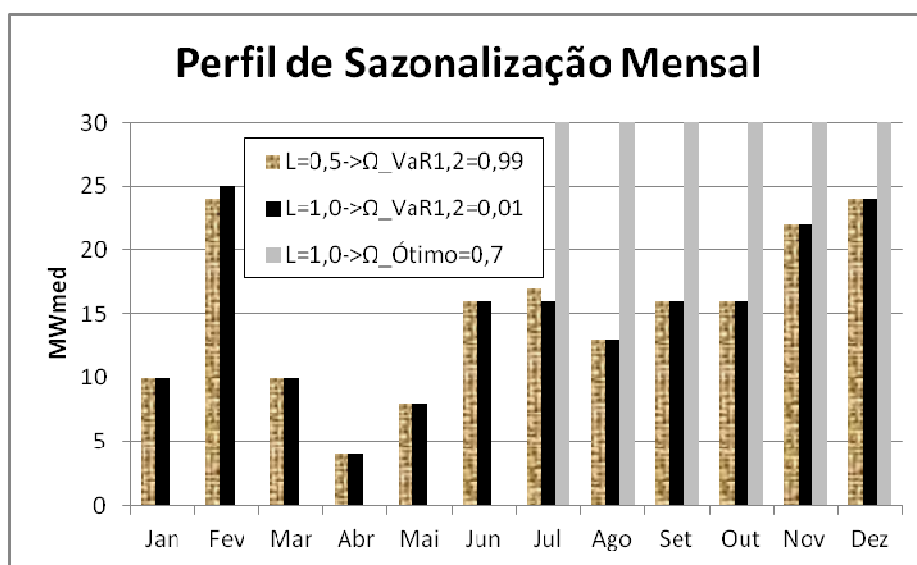
**Figura 13 – Perfis de Sazonalização e PLDs médios.**

Fonte: elaboração própria.

A Figura 14 ilustra os perfis encontrados através da sazonalização ótima para as metas de lucros anuais de R\$1 milhão sem restrição de VaR e para as metas de R\$1 milhão e de R\$500 mil com restrição de  $VaR_{95\%}$  de R\$1,2 milhão.

Nos casos em que a restrição de  $\text{VaR}_{95\%}$  é adotada há 5% de probabilidade de que um valor maior que R\$1,2 milhão seja perdido.

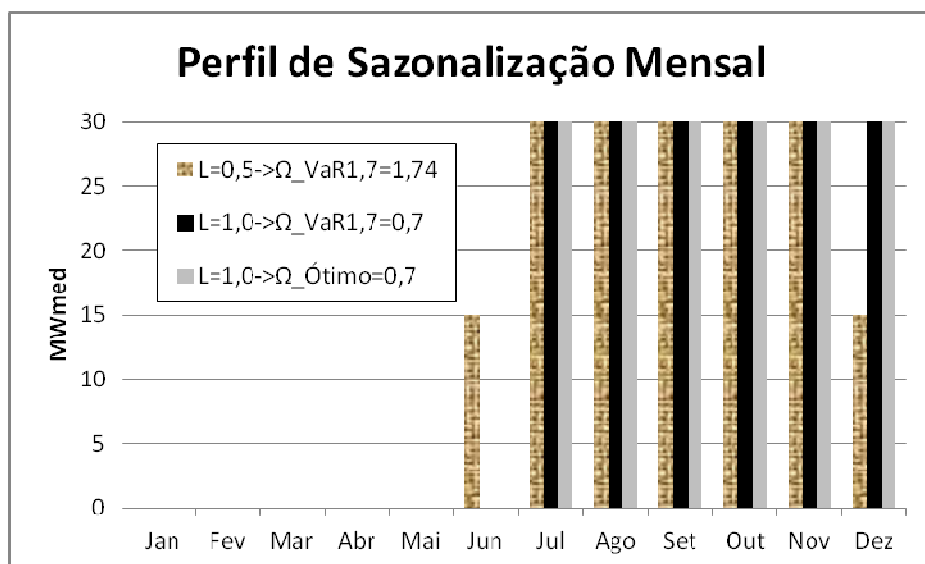
Quando a restrição de  $\text{VaR}_{95\%}$  é inserida as distribuições apresentam montantes de energia elétrica consideráveis entre os meses de janeiro e junho, aproximando-se de uma alocação uniforme ao longo do ano. A restrição de VaR diminui o grau de liberdade para realizar a sazonalização e, à medida que se torna mais rígida, faz com que a distribuição da energia entre os meses do ano seja cada vez mais uniforme.



**Figura 14 – Perfis de Sazonalização com  $\text{VaR}_{95\%}$  de R\$1,2 milhão.**

Fonte: elaboração própria.

A avaliação mostrada na Figura 14 foi repetida para a restrição de  $\text{VaR}_{95\%}$  de R\$1,7 milhão (menos severa) e os resultados encontram-se na Figura 15. Percebe-se que quando a restrição do  $\text{VaR}_{95\%}$  é menos restritiva os montantes de energia voltam a se concentrar nos meses de julho a dezembro. Além disso, é possível verificar comparando as duas distribuições com  $\text{VaR}_{95\%}$  de R\$1,7 milhão que a de meta maior (R\$1 milhão) tem seus montantes de energia alocados exclusivamente entre os meses de julho e dezembro.

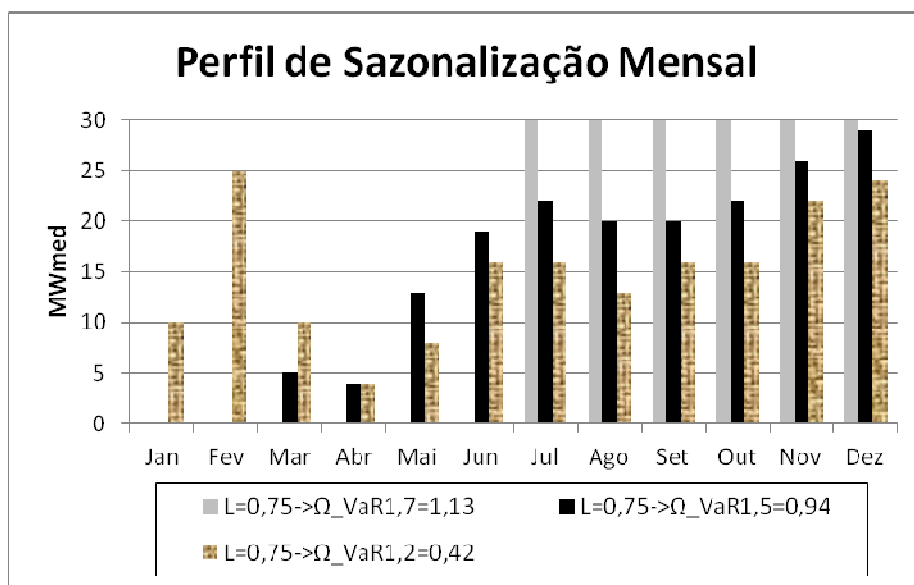


**Figura 15 – Perfis de Sazonalização com VaR95% de R\$1,7 milhão.**

Fonte: elaboração própria.

Diferentes restrições de VaR95% (R\$1,2 milhão; R\$1,5 milhão e R\$1,7 milhão) foram consideradas para a mesma meta de lucros anuais (R\$750 mil) e as alocações de energia elétrica encontradas são demonstradas na Figura 16. Nota-se que à medida que a restrição de VaR<sub>95%</sub> torna-se menos severa a alocação dos montantes de energia fica mais concentrada no período de julho a dezembro.

Valores mais restritivos de VaR diminuem o grau de liberdade para realizar a sazonalização fazendo com que montantes iguais de energia elétrica sejam comprados durante os meses do ano.



**Figura 16 – Variação de Metas de  $VaR_{95\%}$ .**

Fonte: elaboração própria.