

5 ESTUDOS DE CASO E RESULTADOS

5.1 Caso do Proprietário de uma PCH

O primeiro caso estudado será o de um gerador proprietário de uma PCH que resolve incorporar uma Usina de Biomassa de Cana de Açúcar ao seu portfólio de ativos de geração. Serão estudados os efeitos da adição desta Usina de Biomassa ao portfólio original, especialmente sobre o processo decisório do gerador hidráulico de sazonalizar sua Garantia Física.

Foi considerado o caso hipotético de uma PCH com Potencia Instalada de 30 MW (P_{PCH}) e Garantia Física de 16,5 MWmed. Essa usina, participante do MRE, possui originalmente um contrato de venda de 95% de sua Garantia Física ao longo do ano de 2010 de maneira uniforme (i.e., $E_m^C = 15,675 \text{ MWmed} \forall m$) a um preço de 140 R\$/MWh.

Esse contrato de venda de energia resulta em uma Receita Fixa (R_{CONT}) para o gerador de aproximadamente R\$ 19 MM. Por outro lado, conforme visto anteriormente, ele insere um risco de quantidade, que pode ser quantificado pela Receita Líquida na CCEE (R^{CCEE}).

O gerador pode escolher sazonalizar sua Garantia Física de maneira a maximizar o Valor Esperado de sua Receita na CCEE restringindo o $CVaR_{95\%}$ de R^{CCEE} a um valor maior que um certo percentual negativo de sua Receita de Contrato. Dessa maneira, ele garante que o valor esperado dos 5% maiores prejuízos na CCEE não será maior que a sua Receita de Contrato.

Nesse estudo de caso em particular, escolheu-se um limite inferior para o $CVaR_{95\%}(R^{CCEE})$ igual a $-15\% * R_{CONT}$, o que resultou em um limite inferior de aproximadamente R\$ -3 MM (este limite inferior será utilizado também nos estudos de caso seguintes).

Nesta aplicação, as variáveis de decisão foram:

$x = [GF_1, GF_2, \dots, GF_{12}]^T$: o vetor com as decisões de sazonalização da Garantia Física (em MWmed) em cada mês do ano de 2010 da PCH;

a: Variável auxiliar para computação do $CVaR_{95\%}$ de R^{CCEE} .

A Receita Líquida na CCEE deste gerador, para cada cenário “s” simulado na Seção 4.1 (lembrando que $s=1, \dots, S$ e $S=2000$), pode ser modelada pela seguinte equação:

$$R_s^{CCEE} = \sum_{m=1}^{12} (GSF_{m,s} * GF_m^{PCH} - E_m^C) * PLD_{m,s} * h_m \quad (5-1)$$

O problema de otimização da Garantia Física pode ser formulado da seguinte maneira:

$$\text{Max}_{a,x} \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S R_s^{CCEE} \quad (5-2)$$

s.a.

$$\sum_{m=1}^{12} GF_m^{PCH} * h_m = 55\% * P^{PCH} * 8760 \text{ (MWh)} \quad (a)$$

$$GF_m^{PCH} \leq 30 \text{ (MW)}, \forall m=1, \dots, 12 \quad (b)$$

$$GF_m^{PCH} \geq 0, \forall m=1, \dots, 12 \quad (c)$$

$$a + \frac{\sum_{s=1}^S u_s p_s}{1 - \alpha} \geq -3.000.000 \text{ (R\$)} \quad (d)$$

$$u_s \leq 0, \forall s=1, \dots, S \quad (e)$$

$$u_s \leq R_s^{CCEE}(x) - a, \forall s=1, \dots, S \quad (f)$$

A solução deste problema é apresentada na Figura 5-1 a seguir.

Uma análise do resultado mostra que a PCH buscou alocar praticamente toda sua Garantia Física nos meses secos, quando o PLD tende a ser maior e a energia gerada pela PCH tende a ser menor. A PCH buscou alocar o máximo montante possível de energia nos meses de Abril a Junho e Agosto a Outubro. Nesses meses, a Garantia Física alocada foi igual a aproximadamente 180% da Garantia Física média anual, valor que corresponde a Potência Instalada da usina (que é o limite superior de alocação em cada mês). Como a Garantia Física média anual corresponde a 55% da Potencia Instalada, a Potencia Instalada corresponde a $1/55\% = 180\%$ da Garantia Física média anual.

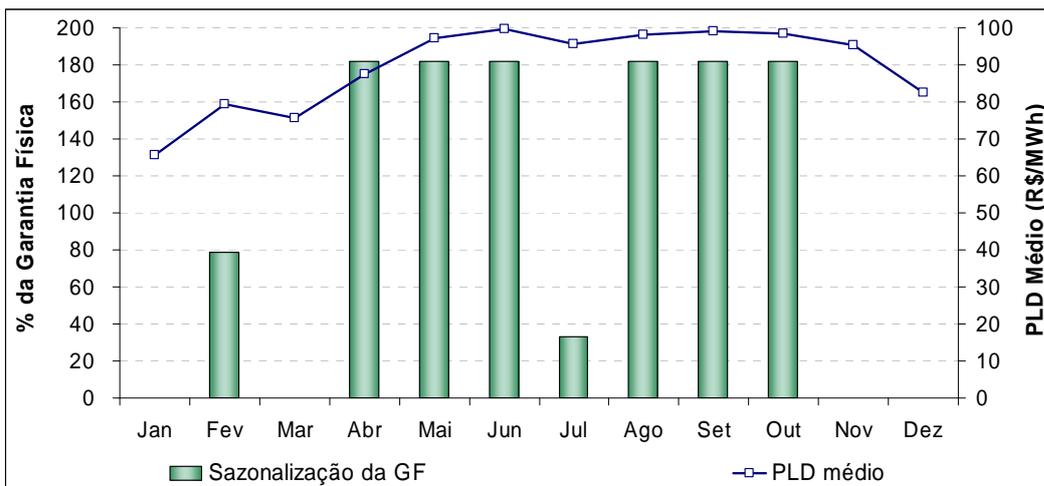


Figura 5-1 – Sazonalização da GF da PCH

O gráfico a seguir mostra a distribuição de probabilidade acumulada da Receita Líquida na CCEE desta PCH:

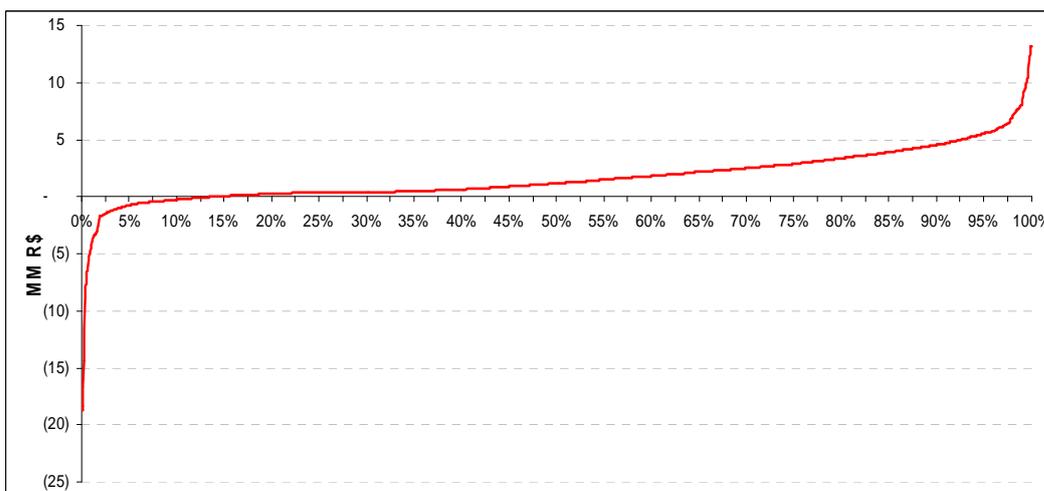


Figura 5-2 – Distribuição da Receita Líquida da PCH

O Valor Esperado da Receita na CCEE foi R\$ 1,66 MM e o CVaR_{95%} desta Receita na CCEE foi R\$ -3 MM.

Em seguida foi simulado o caso em que este proprietário da PCH adquire uma Usina movida a Biomassa de Cana de Açúcar. Para simplificar a análise, não foi considerado o custo de aquisição desta Usina. Dessa maneira, procurou-se

focar nos possíveis ganhos consequentes da combinação desta Usina a Biomassa com a PCH.

Foi simulada a combinação em um mesmo portfólio da PCH anterior com uma Usina movida a Biomassa de Cana de Açúcar com 30 MW de Potencia Instalada (P_{BIO}), Garantia Física de 16,7 MWmed e perfil de geração (G^{BIO}) igual ao apresentado na seção 4.2.2.

Foi considerado que a Garantia Física adicional da inserção da Usina Biomassa do portfólio (16,7 MWmed) é toda vendida em um contrato uniforme ao mesmo preço anterior de 140 R\$/MWh. Dessa maneira, o portfólio PCH + Biomassa fica com uma lastro físico total de 33,2 MWmed, dos quais 32,375 MWmed são negociados de maneira uniforme (i.e., $E_m^C = 32,375 \text{ MWmed} \forall m$) a 140 R\$/MWh resultando em uma Receita total de Contrato de aproximadamente R\$ 40 MM.

Mesmo com o aumento da Receita do Contrato, o limite inferior do $CVaR_{95\%}(R^{CCEE})$ foi mantido em R\$ -3 MM (equivalente a aproximadamente 7,5% da Receita total de contrato do portfólio).

Assim, neste caso, a Receita Líquida na CCEE deste portfólio poderia ser computada através da seguinte fórmula:

$$R_s^{CCEE} = \sum_{m=1}^{12} (GSF_{m,s} * GF_m^{PCH} + G_m^{BIO} * P_{BIO} - E_m^C) * PLD_{m,s} * h_m \quad (5-3)$$

Desta maneira, o modelo de otimização apresentado em (5-2) foi novamente simulado, agora levando em consideração o portfólio PCH + Biomassa (i.e, a Receita Líquida na CCEE foi modelada de acordo com a equação (5-3)).

Com isso, a solução otimizada da sazonalização da Garantia Física da PCH foi a seguinte:

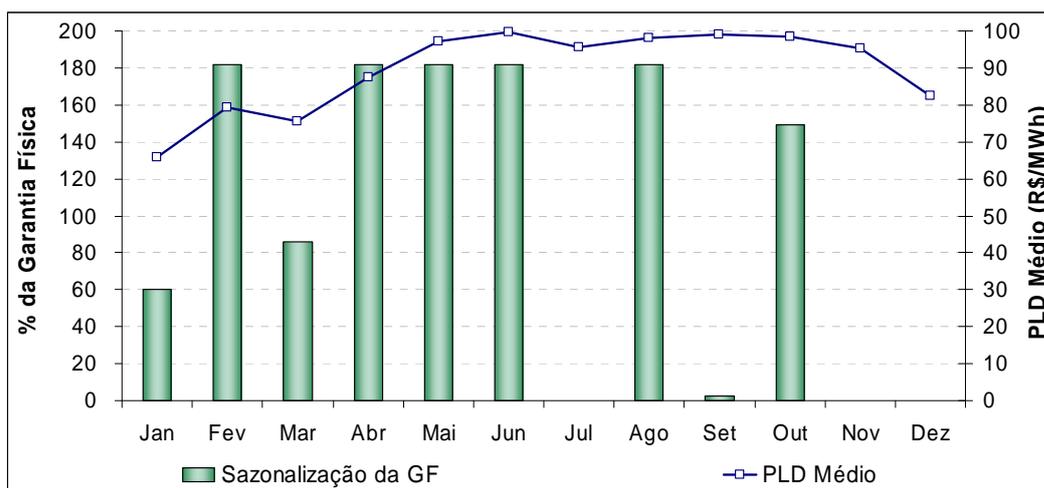


Figura 5-3 - Sazonalização da GF da PCH

Comparando o resultado da sazonalização da Garantia Física de uma PCH inserida em um portfólio PCH + Biomassa (Figura 5-3) com a sazonalização da Garantia Física de uma PCH operando individualmente (Figura 5-1) percebe-se que a inserção da Biomassa fez com que a PCH mudasse sua estratégia ótima de alocação da Garantia Física.

No primeiro caso, quando a PCH comercializava sua energia individualmente, ela tendia a alocar grande parte de sua Garantia Física nos meses secos do ano, já que nestes meses a geração de energia da PCH tende a ser menor e o valor do PLD a ser maior, resultando em um maior risco de preço-quantidade para a PCH.

Com a entrada no portfólio da Usina de Biomassa, esta garantiu uma geração de energia fixa nos meses secos do ano em que a PCH tende a ter uma menor geração de energia. Com isso, a PCH pode alocar menos energia em meses como Julho, Setembro e Outubro e mais energia em meses como Janeiro, Fevereiro e Março.

O gráfico a seguir mostra a distribuição de probabilidade acumulada da Receita Líquida na CCEE deste portfólio PCH + Biomassa (em comparação com a distribuição do caso anterior):

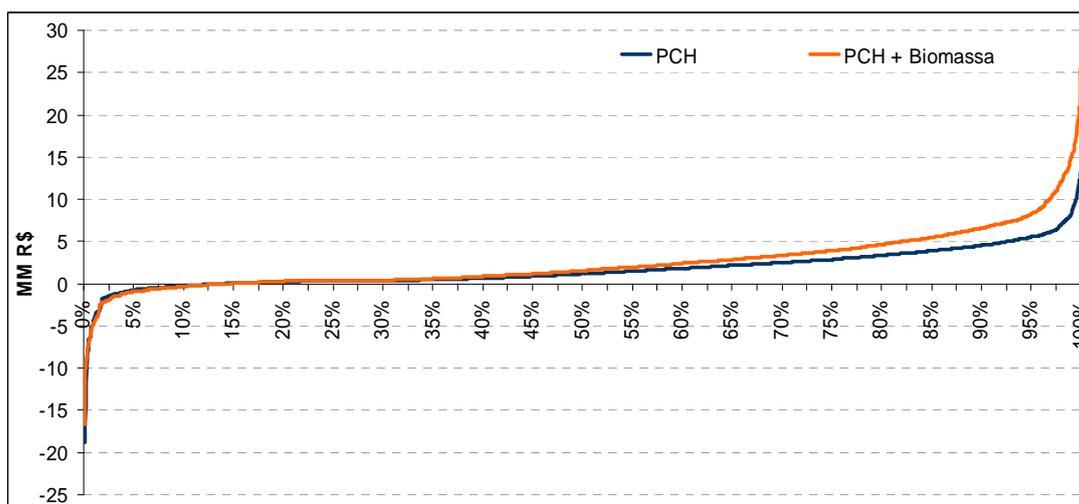


Figura 5-4 - Distribuição da Receita Líquida do portfólio PCH + Biomassa

O Valor Esperado da Receita na CCEE deste portfólio foi R\$ 2,45 MM (47% maior que o resultado no caso da PCH operando individualmente) e o $CVaR_{95\%}$ desta Receita na CCEE foi R\$ -3 MM.

A tabela a seguir apresenta alguns dados do problema resolvido nesta seção.

Tabela 5-1 – Dados do Problema - Estudo de Caso 1

	Valores
Versão do XPRESS®	2008A.1
Dados de Entrada	PMO Junho 2009
Número de Séries (S)	2000
Período Simulado no Problema	Janeiro 2010 a Dezembro de 2010
Número de Linhas (restrições)	6039
Número de Colunas (variáveis)	4014
Elementos diferentes de zero da matriz	38069
Tempo consumido	0,4 segundos

5.2 Caso do Proprietário de uma Usina Biomassa

O segundo caso estudado foi o de um gerador proprietário de uma Usina de Biomassa de Cana de Açúcar na região Sudeste com as mesmas características da

usina apresentada na Seção 3.3.2 que pretende comercializar sua Energia através de contratos para Consumidores Livres.

Conforme discutido no Capítulo 2 deste trabalho, é interessante para os geradores do Mercado de Energia Elétrica Brasileiro assinar contratos de energia de médio/longo prazo com os consumidores para dessa maneira se protegerem da alta probabilidade de ocorrência de “preços spot” muito baixos. Assim, como os contratos são a fonte primária de receita para o Gerador, este busca sempre contratar o maior montante de energia possível de sua energia (regulatoriamente, o maior montante que ele pode contratar é igual a sua Garantia Física).

Por outro lado, no caso das Usinas de Biomassa, devido ao caráter sazonal do perfil de geração desse tipo de usina (como ilustrado na Figura 3-7), a celebração de contratos padrão no ACL pode resultar em enormes prejuízos ao gerador. Isso porque esses contratos no ACL são geralmente contratos com perfil uniforme (mesma quantidade de MWmed em todos os meses de duração do contrato) onde a obrigação de entregar o montante de energia contratada é do gerador. Logo, nos meses fora de safra (quando a geração de energia da usina é nula), o gerador terá “comprar” o montante de energia do contrato no “mercado spot” (i.e., na CCEE) para assim honrar seu compromisso, ficando exposto, dessa maneira, à alta volatilidade do PLD.

Nesse contexto, utilizando os 2000 cenários de PLDs no ano de 2010 resultantes da simulação hidrotérmica mencionada na Seção 4.1, pode-se construir a distribuição de probabilidade da Receita Líquida na CCEE deste gerador quando ele celebra um contrato no montante igual a sua Garantia Física (i.e., $E_m^C = 16,7$ MWmed $\forall m$) e desta maneira quantificar a exposição ao PLD deste gerador nestas condições.

Conforme mencionado anteriormente, a Receita Líquida Anual na CCEE deste gerador a Biomassa pode ser modelada pela seguinte equação:

$$R_s^{CCEE} = \sum_{m=1}^{12} (G_m^{BIO} * P_{BIO} - E_m^C) * PLD_{m,s} * h_m \quad (5-4)$$

Computando R^{CCEE} em 2010 para cada um dos cenários gerados, pode-se construir a seguinte distribuição de probabilidade de R^{CCEE} :

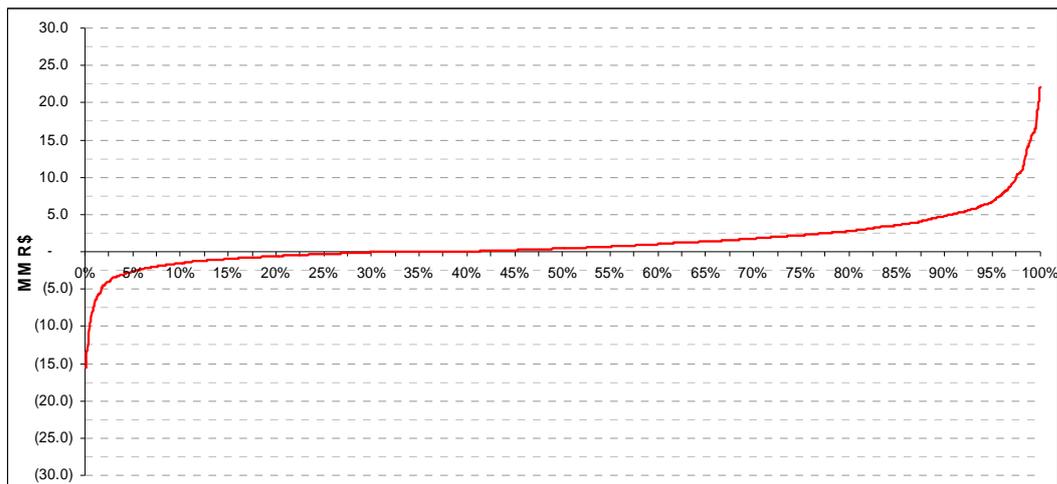


Figura 5-5 - Distribuição da Receita Líquida do gerador Biomassa

O $CVaR_{95\%}$ desta distribuição é igual a R\$ -5,1MM. Isso significa que o prejuízo esperado na CCEE nos piores 5% cenários é de aproximadamente R\$ 5 MM, valor que pode ser considerado alto pelo gerador, levando-o a buscar estratégias alternativas para diminuir esse prejuízo esperado.

Uma possível estratégia para se proteger desse risco seria o gerador contratar um menor percentual de sua Garantia Física. Isso resultará em um menor prejuízo nos meses fora de safra, mas por outro lado, acarretará em uma menor receita de contrato (que pode se mostrar pouco atrativo financeiramente).

Supondo que o gerador considere $CVaR_{95\%}(R^{CCEE}) = R\$ -3 \text{ MM}$ uma exposição aceitável, pode-se, utilizando um método numérico (como o Método de Newton), encontrar facilmente o percentual de contratação da Garantia Física dessa Usina a Biomassa que resulte neste valor de $CVaR_{95\%}(R^{CCEE})$.

Seguindo este raciocínio, foi calculado que um percentual de contratação de aproximadamente 87,8% da Garantia Física dessa Usina resultaria em um $CVaR_{95\%}(R^{CCEE})$ igual a R\$ -3 MM.

Outra possível estratégia para se proteger desse risco sem abrir mão do seu montante original contratável seria combinar com esta Usina Biomassa, em um mesmo portfólio, uma PCH, de maneira a se aproveitar da característica complementar entre essas duas fontes de geração. O Gerador Biomassa estabelecerá um contrato no qual, em troca de um pagamento fixo ao proprietário da PCH, toda a energia gerada por esta última seria entregue ao Gerador

Biomassa. Repare que neste caso, este último estaria assumindo os riscos da geração hidráulica.

Aqui será utilizado um enfoque ligeiramente diferente daquele utilizado no Estudo de Caso 5.1.

Naquele caso, procurava-se estudar o impacto sobre a Receita Líquida Média na CCEE da combinação de uma PCH de tamanho fixo com uma Biomassa de tamanho fixo.

Neste caso, a idéia é que o gerador Biomassa deseja ser capaz de negociar toda sua Garantia Física, mas mantendo um nível de risco aceitável. Foi mostrado que caso ele negocie toda sua Garantia Física, o risco pode ser maior do que ele considera aceitável. Caso ele diminua o montante contratado, ele consegue manter o risco dentro de um limite aceitável, mas abre mão da receita fixa do contrato. Assim, o objetivo neste caso seria encontrar a menor PCH que, combinada em um mesmo portfólio com a Usina Biomassa, resultaria em um $CVaR_{95\%}(R^{CCEE}) = R\$ -3 \text{ MM}$ mesmo com a Biomassa contratando toda sua Garantia Física.

Ou seja, a PCH funcionaria como um “seguro” para o gerador Biomassa. E, em troca, este pagaria à PCH um valor fixo, que pode ser entendido como o “prêmio” do “seguro”.

Dessa maneira, é de interesse do Gerador Biomassa contratar o “seguro” (i.e., a PCH) mais “barato” possível (i.e., a menor PCH possível). Por este motivo, a função objetivo neste caso será a minimização da Potencia Instalada da PCH contratada.

Neste estudo, foi considerado que a PCH a ser contratada tem uma Garantia Física igual a 55% de sua Potencia Efetiva e que ela é participante do MRE. Inicialmente, foi considerado que a sazonalização da Garantia Física desta PCH é uniforme (i.e. $GF_m^{PCH} = GF^{PCH} = 55\% * P^{PCH} \forall m$).

Assim, utilizando os cenários de PLDs e de geração hidráulica no ano de 2010 resultantes da simulação hidrotérmica mencionada na Seção 4.1, pode-se modelar a Receita Líquida na CCEE deste portfólio Biomassa + PCH pela seguinte equação:

$$R_s^{CCEE} = \sum_{m=1}^{12} (GSF_{m,s} * GF_m^{PCH} + G_m^{BIO} * P_{BIO} - E_m^C) * PLD_{m,s} * h_m \quad (5-5)$$

Onde, E_m^C é montante de Energia Contratada (em MWmed) em cada mês do ano, que neste caso é igual à Garantia Física da Usina Biomassa ($GF^{BIO} = 16,7$ MWmed).

As variáveis de decisão nesta aplicação foram:

P_{PCH} : A Potência Instalada da PCH a ser contratada pelo Gerador Biomassa;

a : Variável auxiliar para computação do $CVaR_{95\%}$ de R^{CCEE} .

Assim foi formulado o seguinte PL para encontrar a menor PCH (ou seja, minimizar a Potencia Efetiva da PCH - P_{PCH}) que mantém o $CVaR_{95\%}(R^{CCEE}) = R\$ -3$ MM mesmo com a Biomassa contratando toda sua Garantia Física.

$$\text{Min}_{a, P_{PCH}} P_{PCH} \quad (5-6)$$

s.a.

$$a + \frac{\sum_{s=1}^S u_s p_s}{1 - \alpha} \geq -3.000.000 \text{ (R\$)} \quad (a)$$

$$u_s \leq 0, \forall s=1, \dots, S \quad (b)$$

$$u_s \leq R_s^{CCEE}(x) - a, \forall s=1, \dots, S \quad (c)$$

Como solução deste PL, foi encontrada uma PCH de Potencia Efetiva igual a 3,5 MW e Garantia Física igual a 1,95 MWmed (55% da Potencia Efetiva).

Analisando o resultado, vemos que a combinação da PCH com a Biomassa gerou um portfólio com aproximadamente 18,66 MWmed de Garantia Física (16,7 MWmed da Usina de Biomassa somados a 1,95 MWmed da PCH). Desse total, 16,7 MWmed (a Garantia Física da Usina Biomassa) foram alocados em um contrato de venda de energia. Ou seja, 89,5% da Garantia Física deste portfólio foi contratada mantendo um $CVaR_{95\%}(R^{CCEE}) = R\$ -3$ MM (contra 87,8% no caso da Usina Biomassa operando individualmente).

Dessa maneira, a inclusão da PCH no portfólio resultou em um ganho no montante de energia vendido (o que por sua vez representa uma maior fonte de receita para o Gerador Biomassa). Enquanto o Gerador Biomassa estava comercializando sua energia de maneira individual, ele precisava deixar 2,03 MWmed descontratados para conseguir uma exposição financeira aceitável. No

entanto, ao se combinar com uma PCH de apenas 1,95 MWmed, ele conseguiu contratar esses 2,03 MWmed que antes estavam descontratados (o que representou um ganho líquido de 0,08 MWmed) e manter seu risco financeiro dentro de um limite aceitável.

No entanto, conforme mencionado, essa análise foi feita sem levar em consideração a sazonalização da Garantia Física da PCH. Caso o Gerador Biomassa, ao contratar a toda a energia da PCH (assumindo os riscos da geração hidráulica), pudesse sazonalizar a Garantia Física desta PCH levando em consideração que ela faria parte deste portfólio Biomassa + PCH, ele poderia ter ganhos ainda maiores (ou seja, ele poderia contratar uma PCH ainda menor).

Para testar essa hipótese foi utilizado o modelo de sazonalização da Energia Assegurada do Capítulo anterior, aplicando a mesma idéia apresentada no último exercício (minimização de P^{PCH}).

Dessa maneira, as variáveis de decisão nesta aplicação foram:

$x = [GF_1, GF_2, \dots, GF_{12}]^T$: o vetor com as decisões de sazonalização da Garantia Física (em MWmed) em cada mês do ano de 2010 da PCH a ser contratada;

P_{PCH} : A Potência Instalada da PCH a ser contratada pelo Gerador Biomassa;

a : Variável auxiliar para computação do $CVaR_{95\%}$ de R^{CCEE} .

A equação da Receita Líquida no CCEE é a mesma do exercício anterior:

$$R_s^{CCEE} = \sum_{m=1}^{12} (GSF_{m,s} * GF_m^{PCH} + G_m^{BIO} * P_{BIO} - E_m^C) * PLD_{m,s} * h_m \quad (5-7)$$

Onde, E_m^C é o montante de Energia Contratada (em MWmed) em cada mês do ano, que neste caso é, novamente, igual à Garantia Física da Usina Biomassa ($GF^{BIO} = 16,7$ MWmed).

O problema de otimização pode ser formulado da seguinte maneira:

$$\text{Min}_{x,a,P_{PCH}} P_{PCH} \quad (5-8)$$

s.a.

$$\sum_{m=1}^{12} GF_m^{PCH} * h_m = P_{PCH} * 55\% * 8760 \text{ (MWh)} \quad (a)$$

$$GF_m^{PCH} \leq P_{PCH} \text{ (MW)}, \forall m=1,\dots,12 \quad (b)$$

$$GF_m^{PCH} \geq 0, \forall m=1,\dots,12 \quad (c)$$

$$a + \frac{\sum u_s p_s}{1 - \alpha} \geq -3.000.000 \text{ (R\$)} \quad (d)$$

$$u_s \leq 0, \forall s=1,\dots,S \quad (e)$$

$$u_s \leq R_s^{CCEE}(x) - a, \forall s=1,\dots,S \quad (f)$$

Como solução deste PL foi encontrada uma PCH de Potencia Efetiva igual a 2,66 MW e Garantia Física igual a 1,46 MWmed (55% da Potencia Efetiva).

Analisando este resultado, vemos que, valendo-se da flexibilidade de poder sazonalizar a Garantia Física da PCH, a combinação da PCH com a Biomassa gerou um portfólio com aproximadamente 18,18 MWmed de Garantia Física (16,7 MWmed da Usina de Biomassa somados a 1,46 MWmed da PCH). Desse total, 16,7 MWmed (a Garantia Física da Usina Biomassa) foram alocados em um contrato de venda de energia. Ou seja, 91,9% da Garantia Física deste portfólio foi contratada mantendo um $CVaR_{95\%}(R^{CCEE}) = R\$ -3 \text{ MM}$ (ou seja, um percentual ainda maior que os 89,5% do caso com sazonalização uniforme).

Novamente, a inclusão desta PCH com sazonalização otimizada no portfólio resultou em um ganho ainda maior no montante de energia vendido (i.e., maior fonte de receita para o Gerador Biomassa). Enquanto o Gerador Biomassa estava comercializando sua energia de maneira individual, ele precisava deixar 2,03 MWmed descontratados para conseguir uma exposição financeira aceitável. No entanto, ao se combinar com esta PCH de 1,47 MWmed com sazonalização otimizada, ele conseguiu contratar os 2,03 MWmed antes descontratados e manter seu risco financeiro dentro de um limite aceitável.

A solução otimizada da sazonalização da Garantia Física da PCH foi a seguinte:

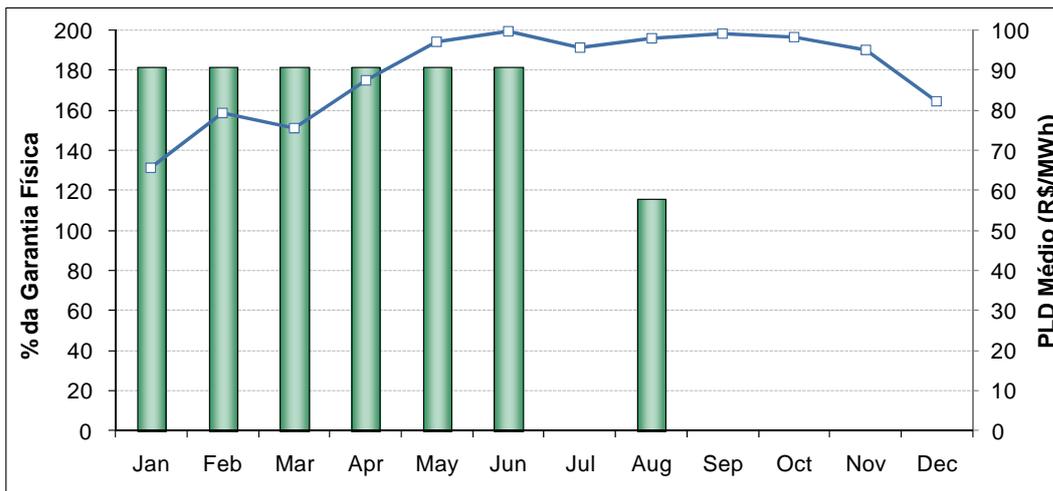


Figura 5-6 - Sazonalização da GF da PCH

Analisando a sazonalização encontrada pode-se reparar que a PCH alocou praticamente toda sua Garantia Física no primeiro semestre do começo do ano, período em que a geração de energia da Usina Biomassa é nula, de maneira a cobrir esse déficit. Isso permitiu não só à Biomassa contratar toda sua Garantia Física mantendo um nível de risco financeiro aceitável, mas também que ela pudesse contratar uma PCH ainda menor do que no caso uniforme.

O gráfico a seguir mostra a distribuição de probabilidade acumulada da Receita Líquida na CCEE deste portfólio PCH + Biomassa:

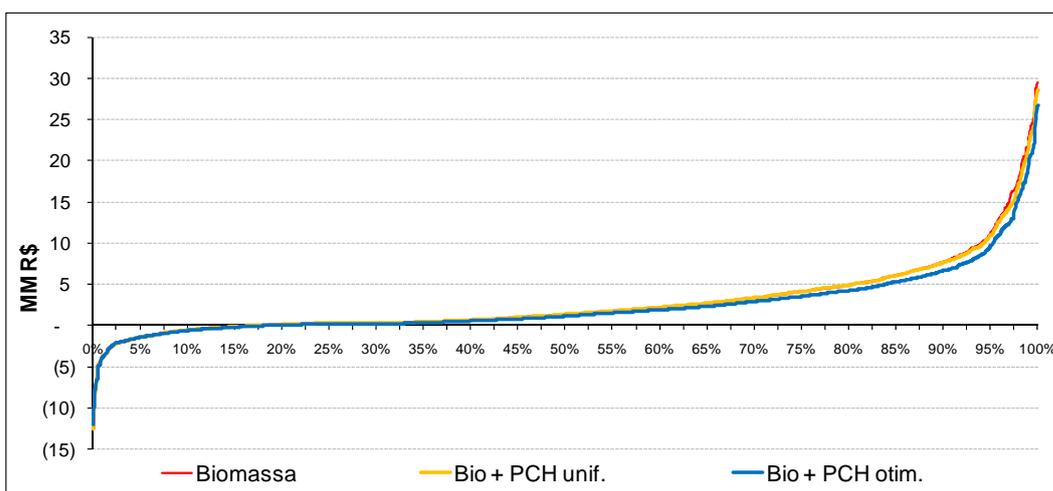


Figura 5-7 – Distribuição da Receita Líquida do portfólio PCH + Biomassa

A tabela a seguir compara os resultados encontrados neste estudo de caso nas três opções analisadas:

Tabela 5-2 – Resultados Estudo de Caso 2

	GF Bio (MWmed)	GF PCH (MWmed)	Energia Contratada (MWmed)	% da GF Total Contratada	CVaR_{95%} (R^{CCEE}) (MMR\$)
Biomassa (contratação total)	16,70	0,00	16,70	100,0%	-5,13
Biomassa (contratação parcial)	16,70	0,00	14,67	87,8%	-3,00
Bio + PCH (sazonalização uniforme)	16,70	1,95	16,70	89,5%	-3,00
Bio + PCH (sazonalização otimizada)	16,70	1,47	16,70	91,9%	-3,00

A tabela a seguir apresenta alguns dados do problema resolvido nesta seção.

Tabela 5-3 – Dados do Problema - Estudo de Caso 2

	Valores
Versão do XPRESS®	2008A.1
Dados de Entrada	PMO Junho 2009
Número de Séries (S)	2000
Período Simulado no Problema	Janeiro 2010 a Dezembro de 2010
Número de Linhas (restrições)	6015
Número de Colunas (variáveis)	4014
Elementos diferentes de zero da matriz	36039
Tempo consumido	0,5 segundos

5.3 Caso da Comercializadora

O terceiro caso estudado foi o de uma comercializadora de energia que pretende vender uma montante firme de energia de fonte renovável para um Consumidor Especial. Neste contexto, a comercializadora deve decidir de quais fontes irá comprar essa energia para então revendê-la de maneira firme para o consumidor especial.

Estudos similares já foram apresentados em trabalhos anteriores como [4] e [26].

Nesta dissertação, no entanto, o assunto será estendido dentro do contexto da sazonalização da Garantia Física da PCH cuja energia a comercializadora está comprando. Será mostrado que a comercializadora pode ter melhores resultados caso ela sazonalize a Garantia Física da PCH levando em consideração a possível inserção desta em um portfólio PCH + Biomassa.

Uma comercializadora de energia é uma empresa que, ao contrário das empresas geradoras, não possui ativos físicos de geração (Usinas Geradoras). No entanto, elas têm autorização do órgão regulador (ANEEL) para vender energia para Consumidores Livres através de contratos no ACL. Para tanto, essas comercializadoras devem estabelecer, com geradores ou até mesmo com outras comercializadoras, contratos de compra de energia em montantes iguais ou superiores ao montante vendido.

No caso específico de energia incentivada, a comercializadora pode vender contratos de energia incentivada, desde que estes contratos estejam lastreados por contratos de compra de energia de origem de fontes de energia alternativa.

Será estudado o seguinte caso hipotético: um Consumidor Livre está interessado em adquirir 16,5 MWmed de Energia de Fontes Renováveis durante todo o ano de 2010 através de um contrato de fornecimento firme de energia. Isto significa que o vendedor de energia terá a obrigação em todos os meses de duração do contrato de entregar os 16,5 MWmed de energia.

Conforme comentado anteriormente, os geradores PCH e Biomassa, devido ao caráter sazonal e incerto de sua geração, muitas vezes hesitam em se comprometer em contratos de fornecimento de energia firme no ACL devido à exposição ao PLD que estes contratos podem trazer.

Neste contexto, uma comercializadora de energia pode tirar proveito dessa situação e intermediar essa transação através de um modelo diferente de negociação.

Como os geradores hesitam em fornecer contratos de fornecimento firme de energia, a comercializadora pode comprar o lastro e capacidade dessas usinas em troca de um pagamento fixo (não importando o montante de energia gerada). Toda a energia gerada pelas usinas seria, nesse caso, entregue a comercializadora. Esta, por sua vez, venderia ao consumidor livre a energia incentivada de maneira firme.

Repare que neste modelo de negociação a comercializadora assume todo o risco de exposição ao PLD. A idéia aqui é que a comercializadora pode comprar a

capacidade de diferentes usinas, combinando as características sazonalmente complementares de PCHs e Biomassas, de maneira a mitigar o risco de geração individual dessas usinas.

Logo a comercializadora deve decidir qual será a composição do seu portfólio de compra de energia de fontes alternativas (i.e., qual percentual será de origem de PCHs e qual percentual será de origem de Biomassas) de maneira a minimizar a sua exposição ao PLD. Além disso, caso ela contrate capacidade de PCHs, a comercializadora pode também sazonalizar a Garantia Física das PCHs com o mesmo objetivo.

O modelo de sazonalização da Garantia Física de uma PCH foi então aplicado para o caso de uma comercializadora que precisa decidir qual a composição de seu portfólio PCH + Biomassa que maximiza o valor esperado da Receita Líquida na CCEE mantendo o risco de exposições negativas ao PLD (i.e., o $CVaR_{95\%}$ de R^{CCEE}) dentro de um limite aceitável.

Nesta aplicação, as variáveis de decisão foram:

$x = [GF_1, GF_2, \dots, GF_{12}]^T$: o vetor com as decisões de sazonalização da Garantia Física (em MWmed) em cada mês do ano de 2010 da PCH a ser contratada;

P_{PCH} : A Potência Instalada da PCH a ser contratada pela comercializadora;

P_{BIO} : A Potência Instalada da Biomassa a ser contratada pela comercializadora;

a : Variável auxiliar para computação do $CVaR_{95\%}$ de R^{CCEE} .

A Receita Líquida Anual na CCEE da comercializadora pode ser modelada pela seguinte equação:

$$R_s^{CCEE} = \sum_{m=1}^{12} (GSF_{m,s} * GF_m^{PCH} + G_m^{BIO} * P_{BIO} - E_m^C) * PLD_{m,s} * h_m \quad (5-9)$$

Inicialmente, para efeito de comparação, foi considerado que a PCH a ser contratada tem a sazonalização de sua Garantia Física uniforme (i.e., mesmo valor alocado em todos os meses do ano). Para isso, foi incluída a restrição adicional (5-10h) no problema impondo que, em todos os meses do ano a Garantia Física Mensal alocada deve ser igual à Garantia Física Anual da Usina (i.e., 55% da Potencia Instalada da PCH).

Além disso, foi incluída a restrição (5-10g) impondo que a soma das Energias Asseguradas das PCHs (que corresponde a 55% de P_{PCH}) e Biomassas (que corresponde a 55,7% de P_{BIO}) contratadas deve ser igual ao montante do contrato de venda de energia Incentivada para o Consumidor Especial (i.e., 16,5 MWmed).

O problema de otimização pode ser formulado da seguinte maneira:

$$\text{Max}_{x, P_{PCH}, P_{BIO}, a} \frac{1}{S} \sum_{s=1}^S R_s^{CCEE} \quad (5-10)$$

s.a.

$$\sum_{m=1}^{12} GF_m^{PCH} * h_m = P_{PCH} * 55\% * 8760 \text{ (MWh)} \quad (a)$$

$$GF_m^{PCH} \leq P_{PCH} \text{ (MW)}, \forall m=1, \dots, 12 \quad (b)$$

$$GF_m^{PCH} \geq 0, \forall m=1, \dots, 12 \quad (c)$$

$$a + \frac{\sum_s u_s p_s}{1 - \alpha} \geq -3.000.000 \text{ (R\$)} \quad (d)$$

$$u_s \leq 0, \forall s=1, \dots, S \quad (e)$$

$$u_s \leq R_s^{CCEE}(x) - a, \forall s=1, \dots, S \quad (f)$$

$$55\% * P_{PCH} + 55,7\% * P_{BIO} = 16,5 \text{ (MWmed)} \quad (g)$$

$$GF_m^{PCH} = 55\% * P_{PCH} \text{ (MWmed)}, \forall m=1, \dots, 12 \quad (h)$$

A Tabela 5-4 abaixo mostra a composição do portfólio Biomassa + PCH da comercializadora quando a sazonalização da Garantia Física da PCH é uniforme.

Tabela 5-4 – Portfólio Biomassa + PCH (Sazonalização da GF uniforme)

	Potencia Instalada (MW)	Garantia Física (MWmed)	Garantia Física (% GF Total do Portfólio)
PCH	12,84	7,06	42,8%
Biomassa	16,94	9,44	57,2%
Total	29,78	16,50	100%

O gráfico abaixo mostra a sazonalização da Garantia Física da PCH neste caso.

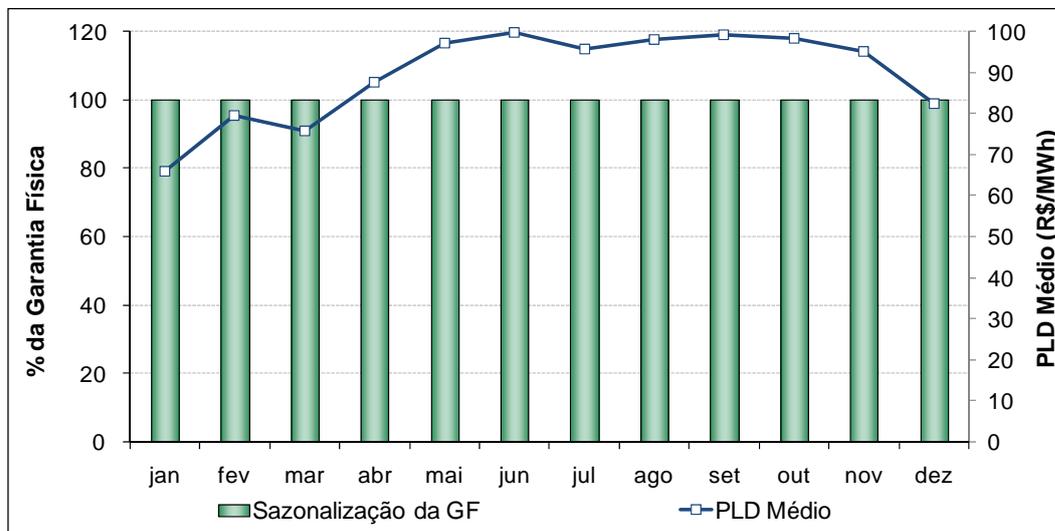


Figura 5-8 – Sazonalização da GF da PCH

O gráfico a seguir mostra a distribuição de probabilidade acumulada da Receita Líquida na CCEE deste portfólio PCH + Biomassa da comercializadora:

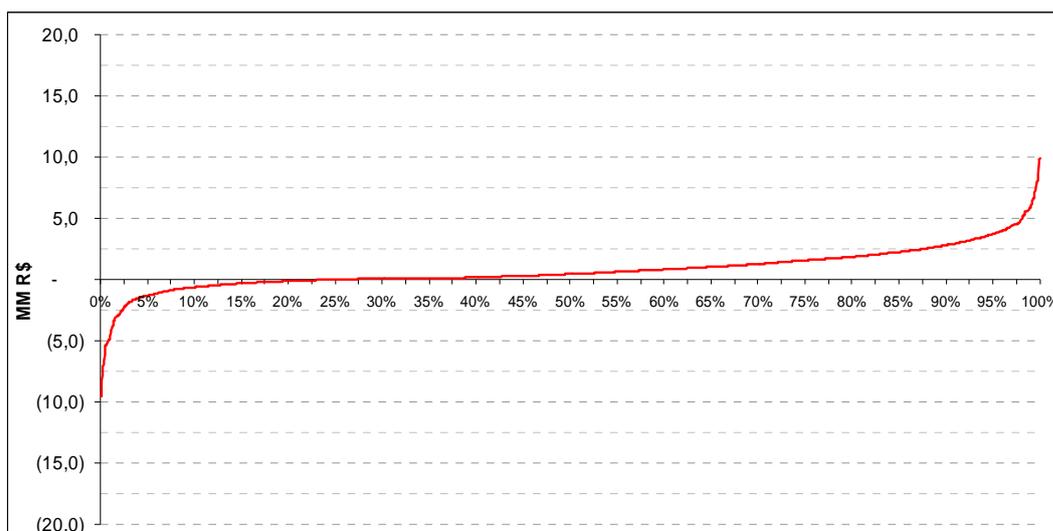


Figura 5-9 - Distribuição da Receita Líquida do portfólio PCH + Biomassa

O Valor Esperado da Receita na CCEE deste portfólio foi R\$ 0,78 MM e o CVaR_{95%} desta Receita na CCEE foi R\$ -3 MM.

Em seguida, foi feita a mesma otimização do portfólio PCH + Biomassa, mas agora otimizando também a sazonalização da Garantia Física da PCH.

Para isso, a restrição (5-10h) impondo que, em todos os meses do ano a Garantia Física Mensal alocada deve ser igual à Garantia Física Anual da Usina foi eliminada do PL (5-10).

A Tabela 5-5 abaixo mostra a composição do portfólio Biomassa + PCH da comercializadora quando a sazonalização da Garantia Física da PCH é otimizada.

Tabela 5-5 – Portfólio Biomassa + PCH (Sazonalização da GF otimizada)

	Potencia Instalada (MW)	Garantia Física (Mwmed)	Garantia Física (% GF Total do Portfólio)
PCH	11,05	6,07	36,8%
Biomassa	18,72	10,43	63,2%
Total	29,76	16,50	100%

O gráfico abaixo mostra a sazonalização otimizada da Garantia Física da PCH.

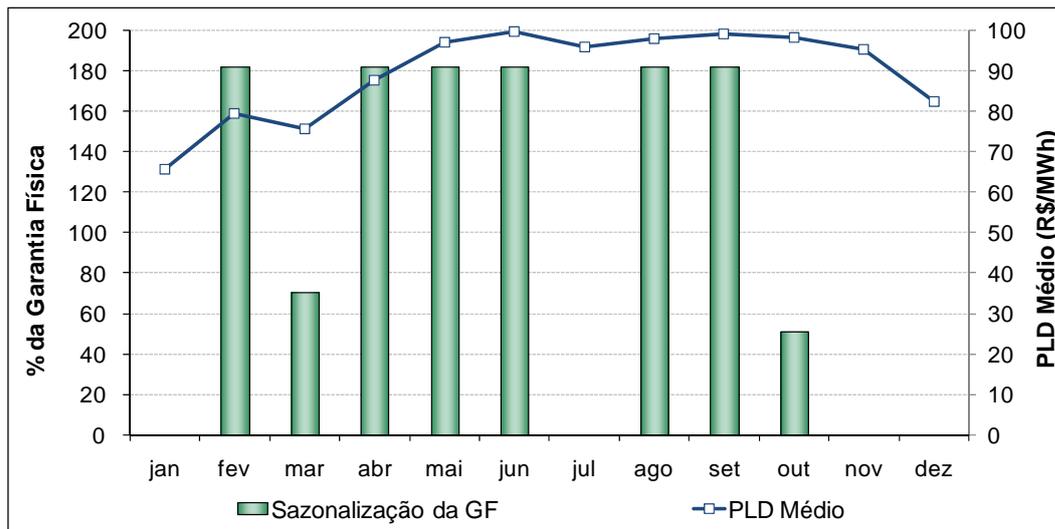


Figura 5-10 – Sazonalização da GF da PCH

O gráfico a seguir mostra a distribuição de probabilidade acumulada da Receita Líquida na CCEE deste portfólio PCH + Biomassa da comercializadora:

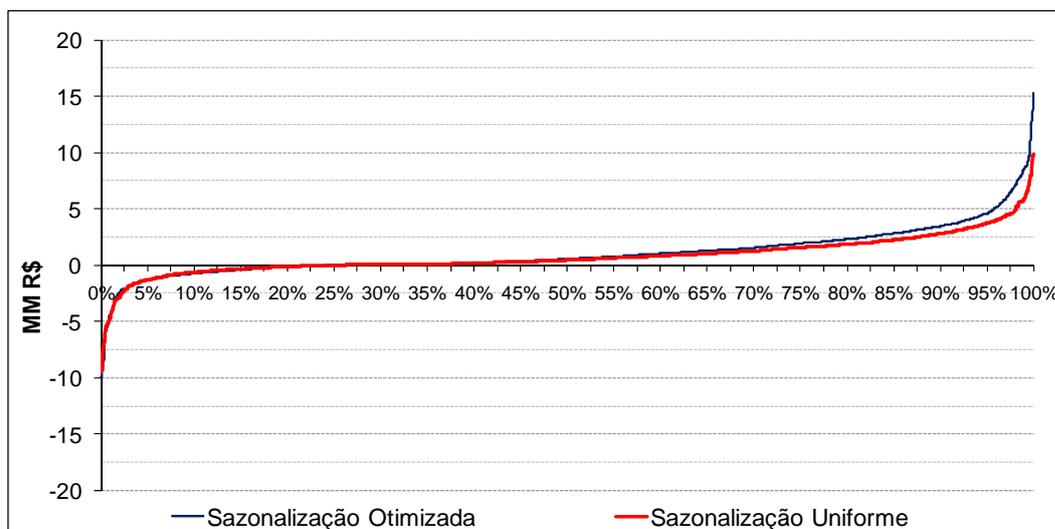


Figura 5-11 - Distribuição da Receita Líquida do portfólio PCH + Biomassa

O Valor Esperado da Receita na CCEE deste portfólio foi R\$ 1,04 MM e o CVaR_{95%} desta Receita na CCEE foi R\$ -3 MM.

A tabela a seguir apresenta alguns dados do problema resolvido nesta seção.

Tabela 5-6 – Dados do Problema - Estudo de Caso 3

	Valores
Versão do XPRESS®	2008A.1

Dados de Entrada	PMO Junho 2009
Número de Séries (S)	2000
Período Simulado no Problema	Janeiro 2010 a Dezembro de 2010
Número de Linhas (restrições)	6015
Número de Colunas (variáveis)	4015
Elementos diferentes de zero da matriz	36040
Tempo consumido	1,2 segundos