

## 8

# Avaliação do Título Conversível pelo Método de Grant, Vora e Weeks (GVW)

### 8.1

#### Introdução

A partir das decisões ótimas do investidor, o modelo de Grant, Vora e Weeks (GVW) [21] baseia-se na determinação das curvas de gatilho com o uso de simulações de Monte Carlo ou Quasi-Monte Carlo. A identificação dos valores críticos do ativo objeto é realizada de forma recursiva (*backward*), quando então o preço do derivativo é encontrado através de novas simulações pela média dos fluxos de caixa gerados em cada trajetória.

De forma a identificar o preço de exercício crítico para cada instante de tempo discretizado, as simulações iniciais são realizadas do instante imediatamente anterior ao vencimento, passando de período a período, até que se chegue à data de emissão. Após esta etapa, ou seja, uma vez determinada a curva que representa os preços críticos para o exercício antecipado em cada instante de tempo, o valor da opção é computado através de novas simulações, desta vez a partir do instante inicial, de maneira análoga à estimação do valor de uma opção européia.

A curva de gatilho ou de exercício antecipado em cada instante de tempo é obtida baseada nos preços de exercício futuros da opção e na estratégia ótima do investidor. A análise recursiva a partir da data de vencimento da opção é então realizada de forma a avaliar a alternativa mais atraente entre exercer a opção ou mantê-la viva, escolha que será mais adequada quando o valor de continuação predominar sobre o preço de exercício da opção.

O processo de otimização inicia-se na data imediatamente anterior ao vencimento, que representa a última data de um possível exercício antecipado anterior ao vencimento da opção. O investidor deve tomar a decisão de exercer a

opção neste instante ou mantê-la viva até a data do próximo exercício, quando então deverá tomar nova decisão. Tal como em qualquer data, será ótimo exercer a opção no vencimento sempre que esta estiver *in the money*, o que representa a situação em que o preço do ativo objeto é maior que o preço de exercício da opção de compra, ou no caso de uma opção de venda, quando o preço do ativo objeto é menor que o preço de exercício da mesma.

O preço de exercício crítico é representado pelo preço do ativo no qual o dono da opção é indiferente entre o exercício imediato ou manter a opção viva. Uma vez que o preço crítico para todos os instantes foi identificado, formando a curva de gatilho, realiza-se novas simulações a partir do instante inicial, e o valor da opção americana será a média aritmética dos fluxos de caixa obtidos em cada trajetória descontados para a data de emissão.

O procedimento para determinação da curva de gatilho por programação dinâmica para o apreçamento de uma opção de compra americana é apresentado a seguir.

1º Passo - Divide-se o período até o vencimento da opção em um número finito de intervalos, adotando-se como condição terminal o preço do ativo objeto ( $S$ ) igual ao preço de exercício da opção no instante  $T$  ( $X_T$ ) no vencimento da opção ( $T$ ).

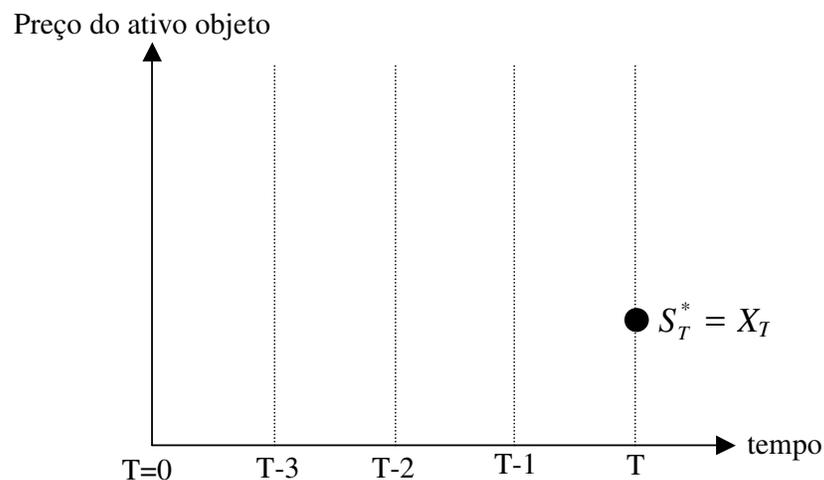


Figura 14 - 1º Passo para o apreçamento de uma opção de compra

2º Passo – Para o instante imediatamente anterior ao vencimento da opção ( $T - 1$ ), adota-se como sendo o preço inicial do ativo objeto um valor igual ou próximo ao

preço de exercício da opção em T, ou seja,  $S_{T-1}^* \cong S_T^* = X_T$ . Inicia-se então as simulações chegando-se a diversos valores para a opção no instante T. O valor final da opção em T-1 é a média desses valores descontados por um período. Se o respectivo ponto atender à condição de indiferença entre exercer a opção ou mantê-la viva, ou seja, se atender à equação  $S_{T-1}^* - X_{T-1} = e^{-r\Delta t} E_{T-1}[C_T(S_T^*)]$ , ter-se-á o valor crítico do ativo objeto no instante T-1. Caso a condição anterior não seja atendida, deve-se realizar um acréscimo no valor de  $S_T^*$  e reiniciar o processo de busca:  $S_{T-1}^{**} = S_{T-1}^* + \varepsilon^1$

Onde:

$E_{T-1}[C_T(S_T^*)]$  = valor esperado em T-1 do valor da opção de compra dado o preço crítico do ativo objeto em T,  $S_T^*$ .

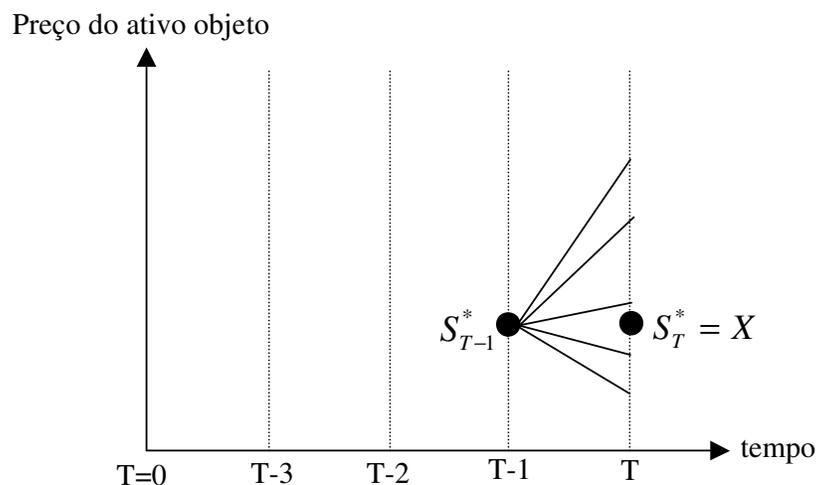


Figura 15 - 2º Passo para o apreçamento de uma opção de compra

3º Passo – Encontrado o valor crítico do ativo objeto em T-1,  $S_{T-1}^*$ , deve-se então continuar o processo de busca de preços críticos repetido o 2º passo recursivamente até o instante inicial, ou seja, refazendo-o desde o instante T-2 até a data de emissão da opção. Para o instante T-2, a opção deverá ser avaliada em cada momento posterior ao tempo em questão, ou seja, nos instantes T-1 e T, respeitando sempre o processo decisório de exercer a opção quando o preço simulado do ativo ultrapassar a curva de gatilho. Após iniciar-se as simulações em

<sup>1</sup> Adotou-se aqui um valor para  $\varepsilon$  igual a 0,25.

T-2, partindo de um preço crítico em T-2 igual àquele encontrado para T-1 ( $S_{T-2}^* = S_{T-1}^*$ ), o valor final da opção em T-2 será a média dos valores encontrados da opção em cada simulação descontados para a data T-2. Assim, se o respectivo ponto atender à condição de indiferença entre exercer a opção ou mantê-la viva, ter-se-á o valor crítico do ativo objeto no instante T-2. Caso a condição anterior não seja atendida, deve-se realizar um acréscimo no valor de  $S_{T-2}^*$  e reiniciar o processo de busca:  $S_{T-2}^{**} = S_{T-2}^* + \varepsilon$

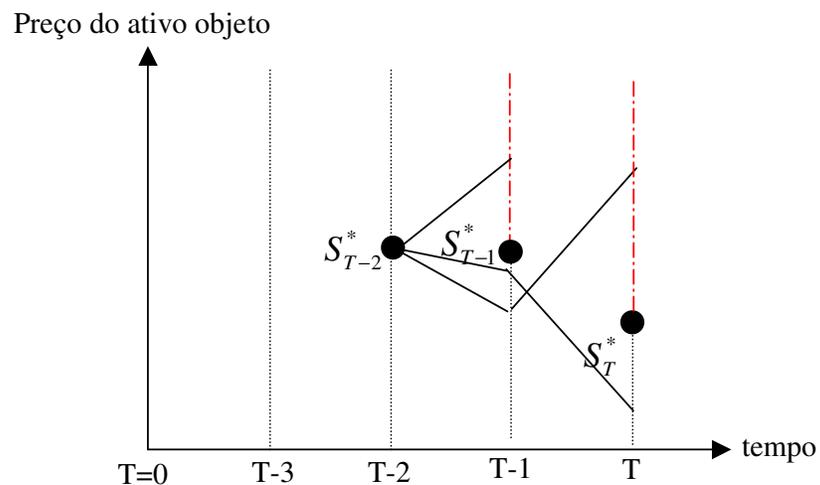


Figura 16 - 3º Passo para o apreçamento de uma opção de compra

4º passo - Após a construção da curva de gatilho a partir dos três passos anteriores, o passo seguinte consiste em realizar novas simulações a partir da data de emissão da opção, considerando o preço inicial do ativo objeto,  $S_0$ . O preço final da opção será o valor médio de cada trajetória trazido a valor presente.

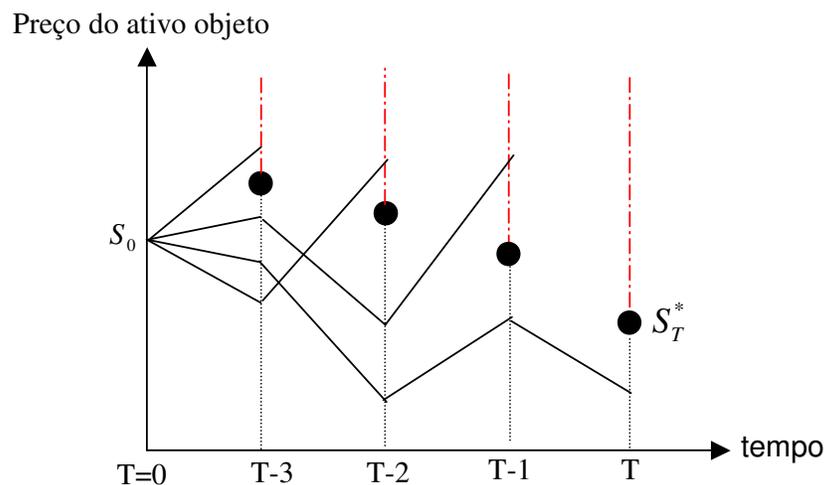


Figura 17 - 4º Passo para o apreçamento de uma opção de compra

## 8.2

### **Aplicação do Método de Grant, Vora e Weeks (GVW) na avaliação do Liquid Yield Option Notes (LYON)**

O LYON envolve as opções de venda e conversibilidade por parte do investidor, além da opção de compra por parte do emissor. Desta forma, tal como na aplicação do Método dos Mínimos Quadrados de Monte Carlo, o procedimento para apreçamento deste título a partir do Método de Grand, Vora e Weeks deve abordar as opções conjuntamente, considerando as estratégias ótimas do emissor e do investidor.

De acordo com as premissas adotadas, o investidor buscará maximizar o valor do título a todo instante, já que o derivativo em questão representa um investimento para o mesmo. Por outro lado, o emissor buscará sempre minimizar o valor do derivativo, já que a partir da emissão este representa uma dívida para o mesmo. Este padrão de comportamento do investidor e do emissor definirá então as estratégias ótimas de conversão e exercício das opções de compra e venda, determinando as quatro condições de contorno para o apreçamento do título, que são a condição de compra, a condição de venda, a condição de conversão e a condição de vencimento.

## 8.3

### **Metodologia**

O modelo de Grant, Vora e Weeks (GVW) depende da determinação das curvas de gatilho através do uso de simulações de Monte Carlo ou Quasi-Monte Carlo. Tratando-se da avaliação do LYON, torna-se necessário identificar os preços críticos do ativo objeto tanto para o exercício da opção de compra por parte do investidor quanto para o exercício da opção de venda e da conversibilidade em ações por parte do investidor. Assim, ter-se-á neste caso três curvas de gatilho representando cada opção e a conversibilidade, que deverão ser encontradas em conjunto.

De forma a definir o preço crítico das opções e da conversibilidade para cada instante de tempo discretizado, deve-se realizar o 1º, 2º e 3º passos descritos anteriormente (para avaliação da opção de compra americana), baseando-se nas estratégias ótimas do investidor e do emissor, identificando em conjunto cada uma das três curvas de gatilho referentes às possibilidades de exercício antecipado por parte do emissor (opção de compra) e do investidor (opção de venda e conversibilidade).

Da mesma forma que nos modelos por Diferenças Finitas Implícito e Mínimos Quadrados de Monte Carlo desenvolvidos respectivamente nos capítulos 5 e 7, seguindo o utilizado por Brennan e Schwartz [8], a premissa adotada aqui diz que cada parte possui a estratégia ótima descrita a seguir e esperam que a outra parte faça o mesmo:

- os emissores seguem a estratégia de compra que minimiza o valor do título em cada instante;
- os investidores seguem as estratégias de venda e conversão que maximizam o valor do título em cada instante.

Assim, assumindo as estratégias ótimas do emissor e do investidor, a análise recursiva a partir da data de vencimento da opção desempenhada por um modelo de programação dinâmica deve ser então realizada de forma a avaliar a alternativa mais atraente (que minimiza o valor do título/dívida) do ponto de vista do emissor no que diz respeito ao exercício da opção de compra ou a manutenção do título no mercado, e do ponto de vista do investidor qual a alternativa mais atraente (que maximiza o valor do título em cada instante) entre exercer a opção de venda, converter o título em ações do emissor ou mantê-lo em operação.

O processo de otimização se inicia na data imediatamente anterior ao vencimento, que representa a última data de um possível exercício antecipado anterior ao vencimento do título. O emissor e o investidor devem tomar a decisão de exercer seus direitos neste instante ou manter o título em operação até a data do próximo exercício, quando deverá tomar nova decisão<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Na data de vencimento o emissor não possui direitos, e o investidor tem a opção de escolher entre ficar com o valor de face do título ou convertê-lo em ações.

Repetindo este procedimento recursivamente, após identificar os preços críticos para todos os instantes, formando as curvas de gatilho, realiza-se novas simulações a partir do instante inicial, e o valor do título será a média aritmética dos fluxos de caixa obtidos em cada trajetória descontados para a data de emissão.

Assim, apresenta-se abaixo a descrição das etapas necessárias para a avaliação do LYON de acordo com o método Grand, Vora e Weeks:

1ª etapa - Na data de vencimento (T) o investidor pode escolher entre receber o valor de face do título ou convertê-lo em ações do emissor. As decisões ótimas no vencimento são definidas na condição de contorno de vencimento, que mostra que o valor do título será o maior entre o valor de face e o valor de conversão. Desta forma, após dividir o tempo até o vencimento do título em um número finito de intervalos, adota-se como preço crítico do ativo objeto na data de vencimento ( $S_T^*$ ) aquele que gera um valor de conversão igual ao valor de face do título ( $F$ ).

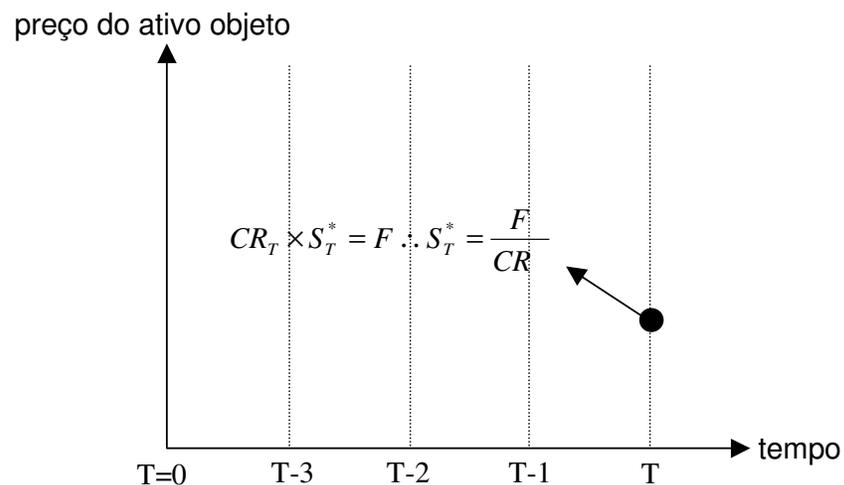


Figura 18 - 1ª Etapa para o apreçamento do LYON

Onde:

$CR$  = taxa de conversão no instante de tempo

$F$  = valor de face do título

2ª etapa – Para o instante imediatamente anterior ao vencimento do título ( $T - 1$ ), adota-se como sendo o preço inicial do ativo objeto um valor igual ou próximo ao

preço crítico do ativo objeto no vencimento,  $S_T^*$ , ou seja,  $S_{T-1}^* \cong S_T^*$ . Inicia-se então as simulações a partir de  $S_{T-1}^*$  chegando-se a diversos valores para o título no instante T. O valor final do título em T-1 será a média desses valores descontados por um período. Dá-se início ao processo de busca dos valores críticos do ativo objeto em T-1 referentes às opções de compra e de venda e à conversibilidade:

- a) Se o valor encontrado para o título em T-1 atender à condição de indiferença entre exercer a conversibilidade ou manter o título no mercado, ou seja, se atender à equação  $CR_{T-1} \times S_{T-1,CV}^* = e^{-r \times t} E_{T-1} [L(S_T^*)]$ , ter-se-á o valor crítico do ativo objeto no instante T-1 no que se refere ao exercício da conversibilidade. Caso a condição anterior não seja atendida, deve-se realizar um decréscimo no valor de  $S_T^*$  e reiniciar o processo de busca:

$$S_{T-1}^{**} = S_{T-1}^* - \varepsilon$$

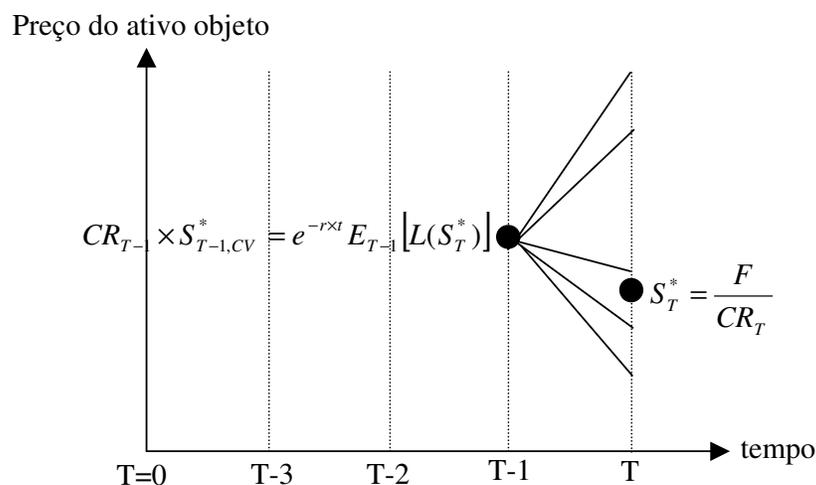


Figura 19 - 2ª Etapa para o apreamento do LYON (Preço crítico da conversibilidade)

- b) Se o valor encontrado para o título em T-1 atender à condição de indiferença entre exercer a opção de compra ou manter o título no mercado, ou seja, se atender à equação  $S_{T-1,C}^* - X_C = e^{-r \times t} E_{T-1} [L(S_T^*)]$ , ter-se-á o valor crítico do ativo objeto no instante T-1 no que se refere ao exercício da opção de compra. Caso a condição anterior não seja atendida,

deve-se realizar um acréscimo no valor de  $S_T^*$  e reiniciar o processo de busca:  $S_{T-1}^{**} = S_{T-1}^* + \varepsilon$

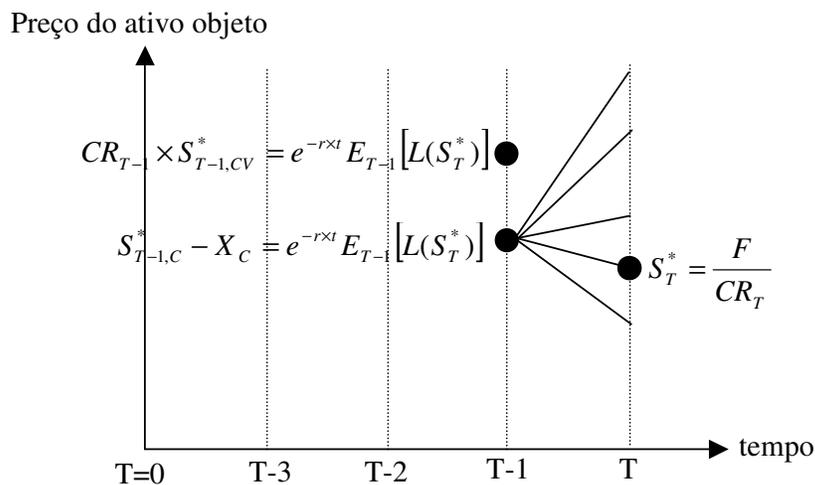


Figura 20 - 2ª Etapa para o apreçamento do LYON (Preço crítico da opção de compra)

c) Se o valor encontrado para o título em T-1 atender à condição de indiferença entre exercer a opção de venda ou manter o título no mercado, ou seja, se atender à equação  $S_{T-1,P}^* - X_P = e^{-r \times t} E_{T-1}[L(S_T^*)]$ , ter-se-á o valor crítico do ativo objeto no instante T-1 no que se refere ao exercício da opção de venda. Caso a condição anterior não seja atendida, deve-se realizar um decréscimo no valor de  $S_T^*$  e reiniciar o processo de busca:

$$S_{T-1}^{**} = S_{T-1}^* - \varepsilon .$$

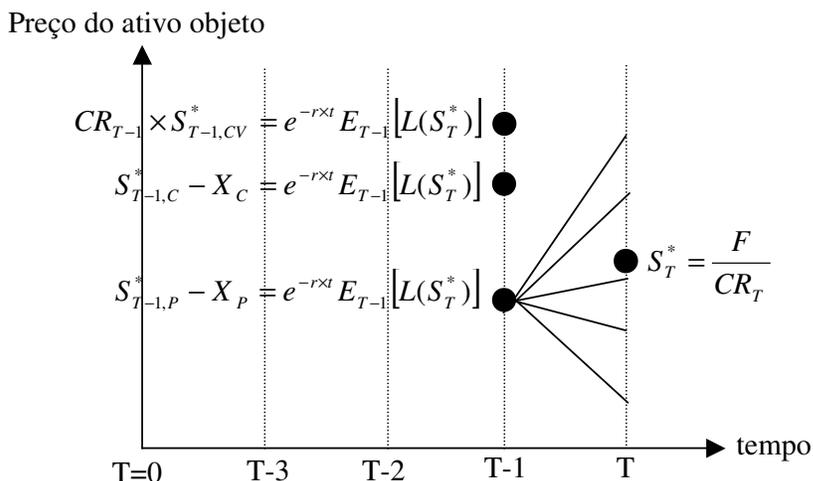


Figura 21 - 2ª Etapa para o apreçamento do LYON (Preço crítico da opção de venda)

Assim, após a realização da 1<sup>a</sup> e 2<sup>a</sup> etapas, ter-se-á os valores críticos do ativo objeto em T-1 no que se refere ao exercício das opções de compra e venda e da conversibilidade.

Onde:

$X_C$  = preço de exercício da opção de compra

$X_P$  = preço de exercício da opção de venda

$E_{T-1}[L(S_T^*)]$  = valor esperado em T-1 do valor do LYON dado os preços críticos (opção de compra, venda e conversibilidade) do ativo objeto em T. Cabe destacar que em T só há o preço crítico da conversibilidade.

$CR$  = taxa de conversão

$S_{T-1,C}^*$  = preço crítico do ativo objeto em T-1 relativo ao exercício da opção de compra

$S_{T-1,P}^*$  = preço crítico do ativo objeto em T-1 relativo ao exercício da opção de venda

$S_{T-1,CV}^*$  = preço crítico do ativo objeto em T-1 relativo ao exercício da conversibilidade

3<sup>a</sup> etapa – Encontrados os três valores críticos do ativo objeto em T-1,  $S_{T-1,C}^*$ ,  $S_{T-1,P}^*$  e  $S_{T-1,CV}^*$ , deve-se então continuar o processo de busca de preços críticos repetindo a segunda etapa recursivamente até o instante inicial, ou seja, refazendo-o desde o instante T-2 até a data de emissão do título. Para o instante T-2, o título deverá ser avaliado em cada momento posterior ao tempo em questão, ou seja, nos instantes T-1 e T, respeitando sempre o processo decisório de exercer as opções ou a conversibilidade quando o preço simulado do ativo ultrapassar uma das curvas de gatilho representadas até então pelos preços críticos obtidos para T-1 e T.<sup>3</sup> O valor final da opção em T-2 será a média dos valores encontrados da opção em cada simulação descontados para a data T-2. Assim, agindo conforme os itens

---

<sup>3</sup> Lembrando que a curva de gatilho da opção de compra representa um limite superior contra o exercício antecipado, ou seja, se em uma trajetória for gerado um valor para o ativo objeto superior aos preços críticos da opção de compra, esta será exercida imediatamente. Já as curvas de gatilho da opção de venda e da conversibilidade representam limites inferiores, ou seja, se em uma trajetória for gerado um valor para o ativo objeto inferior aos preços críticos da opção de venda ou da conversibilidade em um determinado instante de tempo, estas serão exercidas imediatamente.

a, b e c da 2<sup>a</sup> etapa, a partir das condições de indiferença entre exercer cada opção ou a conversibilidade e manter o título no mercado, ter-se-á os valores críticos do ativo objeto no instante T-2.

Seguindo este procedimento de forma recursiva, o processo de busca dos valores críticos do ativo objeto em T-2 referentes às opções de compra e venda e à conversibilidade está apresentado abaixo:

- a) Após iniciar-se as simulações em T-2 partindo de um preço crítico para o exercício da opção de compra em T-2 igual àquele encontrado para T-1 ( $S_{T-2,C}^* = S_{T-1,C}^*$ ), o valor final do título em T-2 será a média dos valores encontrados do título em cada simulação descontados para a data T-2. Se o valor encontrado para o título em T-2 atender à condição de indiferença entre exercer a opção de compra ou manter o título no mercado, ou seja, se atender à equação  $S_{T-2,C}^* - X_C = e^{-r \times t} E_{T-2} [L(S_T^*, S_{T-1}^*)]$ , ter-se-á o valor crítico do ativo objeto no instante T-2 no que se refere ao exercício da opção de compra.
- b) Após iniciar-se as simulações em T-2 partindo de um preço crítico para o exercício da opção de venda em T-2 igual àquele encontrado para T-1 ( $S_{T-2,P}^* = S_{T-1,P}^*$ ), o valor final do título em T-2 será a média dos valores encontrados do título em cada simulação descontados para a data T-2. Se o valor encontrado para o título em T-2 atender à condição de indiferença entre exercer a opção de venda ou manter o título no mercado, ou seja, se atender à equação  $S_{T-2,P}^* - X_P = e^{-r \times t} E_{T-2} [L(S_T^*, S_{T-1}^*)]$ , ter-se-á o valor crítico do ativo objeto no instante T-2 no que se refere ao exercício da opção de venda.
- c) Após iniciar-se as simulações em T-2 partindo de um preço crítico para o exercício da conversibilidade em T-2 igual àquele encontrado para T-1 ( $S_{T-2,CV}^* = S_{T-1,CV}^*$ ), o valor final do título em T-2 será a média dos valores encontrados do título em cada simulação descontados para a data

T-2. Se o valor encontrado para o título em T-2 atender à condição de indiferença entre exercer a conversibilidade ou manter o título no mercado, ou seja, se atender à equação  $CR_{T-2} \times S_{T-2,CV}^* = e^{-r \times \Delta t} E_{T-1} [L(S_T^*, S_{T-1}^*)]$ , ter-se-á o valor crítico do ativo objeto no instante T-2 no que se refere ao exercício da conversibilidade.

Onde:

$E_{T-2} [L(S_T^*, S_{T-1}^*)]$  = valor esperado em T-2 do valor do LYON dado os preços críticos (opção de compra, venda e conversibilidade) do ativo objeto no instante T-1 e no instante T.

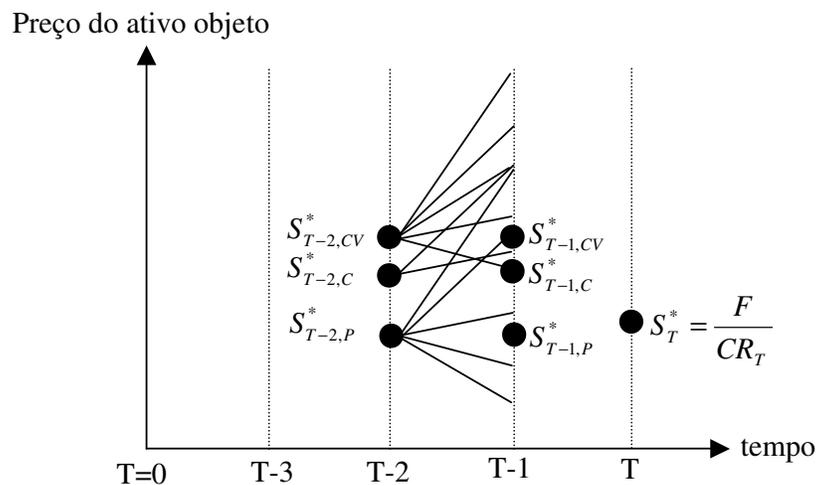


Figura 22 - 3ª Etapa - Preços críticos em T-2

4ª etapa - Após a construção das curvas de gatilho a partir das três etapas anteriores, a etapa seguinte consiste em realizar novas simulação a partir da data de emissão do título, considerando o preço inicial do ativo objeto,  $S_0$ . O preço final do título será o valor médio de cada trajetória trazido a valor presente.

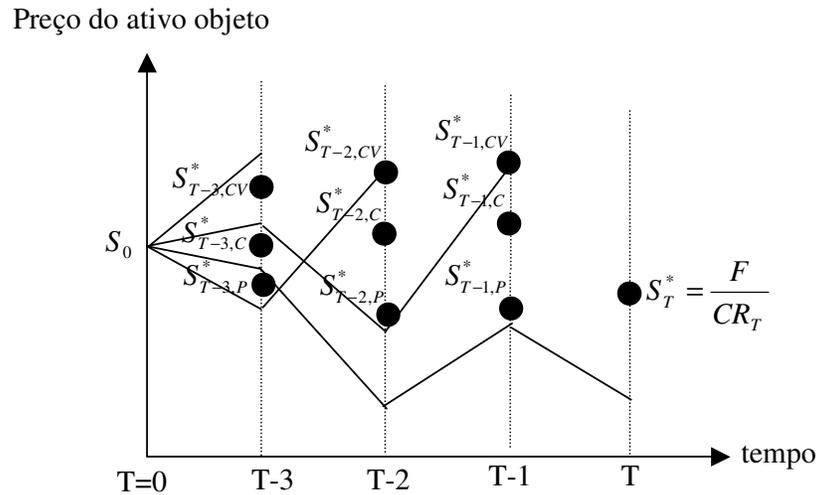


Figura 23 - 4º Preços críticos em T-2

### 8.3.1

#### O Algoritmo

O algoritmo para o apuração do LYON utilizando o Método de Grant, Vora e Weeks (GVW) é apresentado abaixo. A implementação do mesmo foi realizada em linguagem de programação MATLAB 6.5, conforme replicado nos apêndices 5 e 6:

1º passo) Adotar como preço crítico do ativo objeto na data de vencimento ( $S_T^*$ ) aquele que gera um valor de conversão igual ao valor de face do título ( $F$ ).

$$CR_T \times S_T^* = F \therefore S_T^* = \frac{F}{CR_T} \quad (26)$$

Onde:

$CR_T$  = taxa de conversão no instante de tempo T

$F$  = valor de face do título

2º passo) Simular o preço da ação do emissor (S) a partir da data T-1, que representa o instante imediatamente anterior ao vencimento, T, adotando como

sendo o preço inicial do ativo objeto um valor igual ou próximo ao preço crítico do ativo objeto no vencimento,  $S_T^*$ , ou seja,  $S_{T-1}^* \cong S_T^*$ .

$$\text{Número de trajetórias} = Q \rightarrow j = 1 \dots Q$$

3º passo) Definir os fluxos de caixa no vencimento para cada trajetória simulada (condição de maturidade).

4º passo) Em qualquer trajetória, ou seja, de  $j = 1 \dots Q$ , o valor do título no vencimento (T) será:

$$\text{Condição de maturidade: } L_{j,T} = \max[CR_T \times S_{j,T}, 1000] \quad (27)$$

Onde:

$L_{j,T}$  = valor do título no instante T para qualquer trajetória ( $j = 1 \dots P$ );

$CR_T$  = taxa de conversão no instante de tempo T

$S_{j,T}$  = valor do ativo objeto no vencimento (T) para cada trajetória ( $j = 1 \dots Q$ )

5º passo) Para cada trajetória, calcular o valor do LYON na data anterior ao vencimento ( $L_{j,T-1}$ ), como sendo o valor do título no vencimento descontado por um período. Assim, para cada  $j = 1 \dots Q$ :

$$L_{j,T-1} = L_{j,T} \times e^{-r} \quad (28)$$

6º passo) O valor do LYON na data anterior ao vencimento será a média do valor obtido para o mesmo em cada trajetória.

$$L_{T-1} = \sum_{j=1}^Q \frac{L_{j,T}}{Q} \times e^{-r} \quad (29)$$

7º passo) Dá-se início ao processo de busca dos valores críticos do ativo objeto em T-1 referentes à conversibilidade e às opções de compra e venda.

- a) Se o valor encontrado para o título em T-1 ( $L_{T-1}$ ) atender à condição de indiferença entre exercer a conversibilidade ou manter o título no mercado,

ou seja, se atender à equação  $CR_{T-1} \times S_{T-1,CV}^* = \sum_{j=1}^Q \frac{L_{j,T}}{Q} \times e^{-r}$ , ter-se-á o

valor crítico do ativo objeto no instante T-1 no que se refere ao exercício da conversibilidade. Caso a condição anterior não seja atendida, deve-se realizar um decréscimo no valor de  $S_T^*$  e reiniciar o processo de busca:

$$S_{T-1,CV}^{**} = S_{T-1}^* - \varepsilon$$

Onde:

- $S_{T-1,CV}^*$  = preço crítico da ação do emissor no instante T-1 no que se refere ao exercício da conversibilidade nesta data.
- $L_{T-1} = \sum_{j=1}^Q \frac{L_{j,T}}{Q} \times e^{-r}$  = valor esperado em T-1 do valor do Lyon após Q simulações, dado os preços críticos (opção de compra, venda e conversibilidade) do ativo objeto em T. Cabe destacar que, no instante T, só há o preço crítico da conversibilidade, já que não existe opção de compra e venda no vencimento.
- $e^{-r}$  = fator de desconto contínuo por um período de tempo considerando a taxa de juros livre de risco, r.

b) Se o valor encontrado para o título em T-1 ( $L_{T-1}$ ) atender à condição de indiferença entre exercer a opção de venda ou manter o título no mercado,

ou seja, se atender à equação  $X_p - S_{T-1,P}^* = \sum_{j=1}^Q \frac{L_{j,T}}{Q} \times e^{-r}$ , ter-se-á o valor

crítico do ativo objeto no instante T-1 no que se refere ao exercício da opção de venda. Caso a condição anterior não seja atendida, deve-se realizar um decréscimo no valor de  $S_T^*$  e reiniciar o processo de busca:

$$S_{T-1}^* = S_{T-1}^* - \varepsilon$$

Onde:

- $S_{T-1,P}^*$  = preço crítico da ação do emissor no instante T-1 no que se refere ao exercício da opção de venda nesta data
- $X_p$  = preço de exercício da opção de venda.

- $L_{T-1} = \sum_{j=1}^Q \frac{L_{j,T}}{Q} \times e^{-r} =$  valor esperado em T-1 do valor do Lyon após Q simulações, dado os preços críticos (opção de compra, venda e conversibilidade) do ativo objeto em T. Cabe destacar que, no instante T, só há o preço crítico da conversibilidade, já que não existe opção de compra e venda no vencimento.
- $e^{-r} =$  fator de desconto contínuo por um período de tempo considerando a taxa de juros livre de risco, r.

c) Se o valor encontrado para o título em T-1 ( $L_{T-1}$ ) atender à condição de indiferença entre exercer a opção de compra ou manter o título no mercado, ou seja, se atender à equação  $S_{T-1,C}^* - X_C = \sum_{j=1}^Q \frac{L_{j,T}}{Q} \times e^{-r}$ , ter-se-

á o valor crítico do ativo objeto no instante T-1 no que se refere ao exercício da opção de compra. Caso a condição anterior não seja atendida, deve-se realizar um acréscimo no valor de  $S_T^*$  e reiniciar o processo de busca:  $S_{T-1}^{**} = S_{T-1}^* + \varepsilon$

Onde:

- $S_{T-1,C}^* =$  preço crítico da ação do emissor no instante T-1 no que se refere ao exercício da opção de compra nesta data
- $X_C =$  preço de exercício da opção de compra.
- $L_{T-1} = \sum_{j=1}^Q \frac{L_{j,T}}{Q} \times e^{-r} =$  valor esperado em T-1 do valor do Lyon após Q simulações, dado os preços críticos (opção de compra, venda e conversibilidade) do ativo objeto em T. Cabe destacar que, no instante T, só há o preço crítico da conversibilidade, já que não existe opção de compra e venda no vencimento.
- $e^{-r} =$  fator de desconto contínuo por um período de tempo considerando a taxa de juros livre de risco, r.

Assim, ter-se-á os valores críticos do ativo objeto em T-1 no que se refere ao exercício das opções de compra e venda e da conversibilidade.

8º passo) Encontrado os três valores críticos do ativo objeto no instante imediatamente anterior ao vencimento ( $i = T-1$ ),  $S_{T-1,C}^*$ ,  $S_{T-1,P}^*$  e  $S_{T-1,CV}^*$ , deve-se então continuar o processo de busca de preços críticos recursivamente até o instante inicial, ou seja, refazendo-o desde o instante  $i = T-2$  até a data de emissão do título. Para o instante  $i = T-2$ , o título deverá ser avaliado em cada momento posterior ao instante de tempo em questão, ou seja, nos instantes  $i = T-1$  e  $i = T$ , respeitando sempre o processo decisório de exercer as opções ou a conversibilidade quando o preço simulado do ativo atingir uma das curvas de gatilho representadas até então pelos preços críticos obtidos para  $i = T-1$  e  $i = T$ .<sup>4</sup> O valor final do LYON em  $i = T-2$  será a média dos valores encontrados do LYON em cada simulação descontados para até a data  $i = T-2$ . Assim, agindo conforme os itens a, b e c do passo 7, a partir das condições de indiferença entre exercer cada opção ou a conversibilidade e manter o título no mercado, ter-se-á os valores críticos do ativo objeto no instante  $i = T-2$ .

9º passo) Continuar o procedimento até chegar ao instante  $i = 1$ . Tendo identificado todos os preços críticos da opção de compra, opção de venda e conversibilidade nos instantes de  $i = 1$  até  $i = T$ , deve-se então realizar novas simulações a partir da data de emissão ( $i = 0$ ). O valor do título poderá ser então obtido descontando-se os fluxos de caixa gerados em cada trajetória para a data zero e obtendo-se a média.

---

<sup>4</sup> Lembrando que a curva de gatilho da opção de compra representa um limite superior contra o exercício antecipado, ou seja, se em uma trajetória for gerado um valor para o ativo objeto superior aos preços críticos da opção de compra, esta será exercida imediatamente. Já as curvas de gatilho da opção de venda e da conversibilidade representam limites inferiores, ou seja, se em uma trajetória for gerado um valor para o ativo objeto inferior aos preços críticos da opção de compra ou da conversibilidade em um determinado instante de tempo, estas serão exercidas imediatamente.