

Créditos de Carbono: um ensaio teórico sobre seus métodos de precificação

1. Introdução

Este novo ativo financeiro tem sido amplamente negociado nos últimos anos, principalmente em bolsas que operam com contratos ligados à energia, aproveitando-se assim da estrutura e *know-how* já existentes (KNOX, 2009). O mercado de emissões cresceu substancialmente nos últimos anos, podendo chegar a ser um dos maiores mercados de *commodities* do mundo nas próximas décadas (PIRRONG, 2011).

Os países signatários do Protocolo de Kyoto possuem metas para a redução da emissão de Gases Efeito Estufa (GEE), para tanto rateiam estas quotas entre empresas de diversos setores. Por sua vez, essas empresas têm de reduzir suas emissões de gases poluentes, sob pena de arcarem com o pagamento de multas, caso ultrapassem os limites pré-estabelecidos. Contudo, algumas organizações não conseguem (ou não têm interesse) em atingir tais reduções, sendo obrigadas a adquirirem títulos específicos no mercado para compensar a parcela de emissões não reduzida, objetivando com isto, que perdas significativas sejam reduzidas ou até mesmo eliminadas.

A maximização dos resultados e minimização dos riscos são objetivos almejados pelos gestores financeiros, para atingirem esses resultados são utilizados instrumentos financeiros como derivativos, com isto, consegue-se reduzir a exposição aos riscos, fixando resultados pré-estabelecidos.

Com a entrada em vigor da segunda etapa do Protocolo de Kyoto para o período de 2008 até 2012, milhares de empresas, sobretudo as européias, continuam obrigadas a reduzir seus níveis de emissões de GEE, porém muitas dessas não conseguem atingir suas metas, sendo obrigadas a recorrer ao mercado financeiro para adquirirem créditos de carbono e evitar sanções legais.

O volume de créditos de carbono negociado em todo mundo, em 2007, ultrapassou US\$ 50 bilhões, enquanto a safra de trigo para o mesmo período nos Estados Unidos chegou a cerca de US\$ 11,5 bilhões (DASKALAKIS, PSYCHOYIOS, MARKELLOS, 2009), com isto, observa-se o relevante papel deste novo ativo financeiro no mercado mundial de *commodities*. Acredita-se que este *commoditie*, nos próximos anos, será um dos mais negociados em todo mundo (CHEVALLIER, IELPO, MERCIER; 2009; PIRRONG, 2011).

A correta compreensão dos fatores determinantes das séries de preços dos créditos de carbono no mercado é ponto precípuo para a proteção e gerenciamento dos riscos, a manutenção dos resultados almejados e a continuidade das atividades empresariais. Algumas pesquisas, utilizando principalmente informações de bolsas européias, já analisam as flutuações dos preços dos derivativos de carbono, porém elas ainda são inconclusivas. Pois esse mercado é considerado recente, ainda não atingido assim sua maturidade (DASKALAKIS, PSYCHOYIOS, MARKELLOS, 2009; BENZ, TRÜCK, 2009; CHEVALLIER, 2009; GAGLIARDI, 2009; CONVERY, REDMOND, 2007).

O aumento na demanda, por estes ativos financeiros, cresceu significativamente nos últimos anos e juntamente com outros fatores econômicos podem elevar os preços dos mesmos, levando as empresas a problemas legais, financeiros e econômicos no futuro. Em

casos extremos, chegando acarretar na redução significativa dos lucros e até mesmo na descontinuidade do negócio. Este trabalho teórico objetiva abordar os principais métodos utilizados para a precificação de derivativos de emissões de carbono negociados na *European Union Emissions Trading Scheme* - EU ETS, onde a correta mensuração destes derivativos tem impacto direto no gerenciamento de risco das organizações.

2. Aspectos Teóricos

2.1. Derivativos e o Mercado de Carbono

Derivativos são instrumentos financeiros utilizados pelas empresas para reduzirem suas exposições aos riscos. Este tipo de ativo financeiro caracteriza-se por ter seus valores e resultados derivados de algo, alguns contratos de derivativos se destacam, como exemplo temos contratos vinculados: produtos agropecuários, taxa de inflação, taxa juros, câmbio, clima *etc* (ROSS, WESTERFIELD, JAFFE, 2002). Os mercados futuros são vistos como um termômetro do mercado à vista, onde têm papel importante na evidenciação dos preços esperados (HULL, 2005; AMADO, CARMONA, 2004; MARQUES, MELLO, MARTINES FILHO, 2008). Com isto empresas e investidores podem ajustar sua exposição aos riscos, bem como os custos inerentes a cada operação de proteção, criando assim sua própria política de *hedge*.

Guay e Kothari (2002) observam que os benefícios obtidos com a utilização de derivativos excedem o custo das transações, proporcionando assim resultados positivos nas transações. A política de *hedge* afeta o valor da empresa pois está atrelada diretamente à questões ligadas aos tributos, custos de contratação, política de compensação dos gestores, decisão dos investidores, contratação de empréstimos e financiamentos (SMITH, STULZ, 1985).

Scott (2009) destaca que as empresas devem utilizar *full disclosure* em suas operações com derivativos e de *hedge*, especialmente quando estes instrumentos são utilizados de maneira especulativa. Porém o incremento de informações geradas pelas empresas pode aumentar significativamente os custos de transação de empresas de pequeno e médio porte (BERK, DEMARZO, 2008).

Os derivativos de carbono são contratos futuros que objetivam assegurar às empresas opções e condições de comprarem créditos de carbono no futuro a preços estabelecidos no presente, evitando assim problemas futuros caso não consigam reduzir seus níveis de poluição. No longo prazo, as empresas participantes do mercado de carbono, podem se proteger através de operações de *hedge* (BENZ, TRÜK, 2009), ou seja, se existir uma correta gestão do risco, as empresas poderão evitar possíveis futuras flutuações nos preços dos derivativos de carbono.

O Protocolo de Kyoto foi criado em 1997, com o intuito de regular a redução dos níveis de emissão de GEE através de três mecanismos: comércio internacional de emissões (CIE), mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL) e implementação conjunta (IC). O protocolo lista em seu Anexo A os países que são obrigados a reduzir seus níveis de poluição através dos mecanismos supracitados, enquanto os países inseridos no Anexo B, como Brasil, China, Índia, dentre outros, só teriam suas metas de redução estabelecidas a partir de 2012, mas até lá podem negociar suas reduções obtidas através da implementação de projetos de MDL (SEIFFERT, 2009). Porém, em 2011, o protocolo foi renovado até 2017, sem a inclusão

dessas nações no anexo de países desenvolvidos (poluidores), já o Canadá, Rússia e Japão solicitaram sua exclusão do acordo, ficando de fora da prorrogação do mesmo.

Cada país participante do protocolo recebe uma quota para emissão de CO₂, esta por sua vez é rateada entre as empresas de diversos setores como: químico, energia e aquecimento, ferro e aço, serviços de abastecimento de água, gestão e tratamento de resíduos e recentemente, o de aviação.

O volume das reduções das emissões é transformado em certificados específicos, denominados de certificados de créditos de carbono, os quais poderão ser utilizados integralmente pelas empresas que os receberam ou negociados com outras empresas que ultrapassaram as metas de poluição estabelecidas. Esses títulos são negociados em bolsas já existentes, aproveitando-se da estrutura e *know how* dentro do mercado financeiro, também existem bolsas constituídas exclusivamente com a finalidade de negociar esses papéis específicos. Os contratos são negociados no mercado *On-the-Counter* (OTC), de futuros e de opções.

As maiores bolsas do mercado alternativo, em volume de negociação, que transacionam essas reduções são a *European Climate Exchange* (ECX), atualmente vinculada à *Intercontinental Exchange* (ICE) e a *European Energy Exchange* (EEX). Destacam-se também no cenário mundial a *Bluenext*, *Powernext* e *Nord Pool* e *Chicago Climate Exchange* (CCX), esta localizada nos Estados Unidos, possuindo papel importante no mercado de carbono, mesmo o país sede não fazendo parte do protocolo. Outras bolsas com finalidade específica de promover as transações dos certificados de créditos de carbono já operam no Canadá, China, Alemanha, França, Japão, Holanda e Austrália (DELGADO et al: 2006). No Brasil, a BMF&BOVESPA já atuou na venda de créditos de carbono obtidos através de projetos de MDL instalados em aterro sanitário localizado no município de São Paulo.

2.2. Fatores Determinantes dos Preços

Em um modelo de concorrência, as interseções entre as curvas de oferta e demanda determinam os preços dos produtos, entretanto existem diversos fatores que norteiam estas curvas, fazendo que existam flutuações de preços (MARQUES, MELLO, MARTINES FILHO, 2008; HULL, 2005). Os determinantes dos preços no mercado de ações podem ser endógenos e/ou exógenos, variando com o tempo, de acordo com setor da empresa e a região onde está localizada. Fatores como preço do petróleo, índice de lucratividade, taxa de inflação do país, oferta de crédito, composição da diretoria da empresa, competição *etc*, influenciam o valor das ações, podendo ainda se correlacionarem entre si (CHEN, ROLL, ROSS, 1986; SOMOYE, AKINTOYE, OSENI, 2009; CHEVALLIER, 2009).

Chen, Roll e Ross (1986) constataram que os retornos das ações são sensíveis às mudanças da economia, demonstrando assim forte ligação entre variáveis macro e microeconômicas e a determinação dos preços das ações, pressupondo assim a influência de diversos fatores na construção do preço de determinado título. Já Chevallier (2009), encontrou baixa relação entre o preço dos derivativos de carbono negociados em bolsas européias, na Fase 1 do Protocolo de Kyoto, e fatores de risco macroeconômicos, acreditando que a preferência dos investidores difere entre este tipo de derivativo e outros ativos financeiros tradicionais.

Acredita-se que nesse mercado, considerado relativamente novo e em formação, a eficiência deste ainda não pode ser comprovada, pelo menos na Fase 1 do protocolo, não

refletindo nos preços dos ativos todas as informações disponíveis no mercado (DASKALAKIS, MARKELLOS, 2008). O amadurecimento do mercado de carbono na segunda fase do protocolo, que vai de 2008 até 2012, poderá representar um maior grau de interação entre as informações disponíveis e o preço dos títulos.

Knox-Hayes (2008) ratifica a imaturidade do mercado de carbono, porém destaca o uso de competências adquiridas pelas empresas atuantes no mercado financeiro de grandes centros, como Nova York e Londres, onde esta prática é vista como fator que possibilita a redução dos custos de transação nas operações. Entende-se assim que o processo de expansão é gradativo e paulatino, onde, no longo prazo os preços futuros tenderão a refletir os preços à vista (CONVERY, REDMOND, 2007; GAGLIARD, 2009).

2.2.1 Aspectos Macroeconômicos

Aspectos macroeconômicos têm sido estudados como formadores de preços de ações, derivativos e títulos em geral (BAILEY, CHAN, 1993; CHEN 1991).

Como base inicial para a precificação dos derivativos, utilizaremos o PIB, o investimento fixo, a taxa de câmbio, a inflação, a taxa de juros e o avanço tecnológico. Para a escolha destas variáveis foi observada a interação destas com o mercado de derivativos, sobretudo o de carbono, bem como o trabalho seminal de Chen, Roll e Ross (1986).

O crescimento da demanda por bens e serviços está diretamente relacionado à produção dos mesmos. O aumento consumo, observado através do crescimento do PIB e do investimento fixo representam uma oportunidade das empresas produzirem mais, respondendo assim aos anseios do mercado (BLANCHARD, 2004). Por sua vez, para que haja este aumento de produção e acréscimo na oferta de seus produtos, em alguns casos, após esgotar sua capacidade ociosa, as empresas também precisam aumentar seu investimento em ativos fixos, aumentando assim sua capacidade produtiva.

Um incremento da produção tende a ter um impacto positivo no aumento da emissão de poluentes pelas empresas, com isto a empresa poderia necessitar recorrer ao mercado de carbono para comprar permissões para emissão de gases de efeito estufa. Consequentemente, o aumento da demanda por certificados de carbono tende a elevar o preço dos mesmos. O inverso, ou seja, a redução da demanda por bens e serviços, proporcionaria uma queda na produção, fazendo com que as empresas poluam menos, resultando na sobra de EUA que por sua vez teria seu valor reduzido no mercado. Isto foi observado durante a última grande crise mundial, durante o período de 2008 e 2009, onde empresas de diversos setores ficaram abaixo da meta de emissões estipuladas pela EU ETS.

O câmbio tem se tornado mais importante ao passo em que as empresas buscam mercados internacionais para aumentarem seus resultados e reduzirem sua exposição ao risco. As variações cambiais têm levado algumas empresas a prejuízos substanciais principalmente pela falta de proteção na utilização do mercado futuro e de opções (LOPES, GALDI, LIMA, 2009). A variação cambial constitui em mais um fator de risco atrelado ao mercado de carbono, tendo em vista deste ser um mercado global, onde as empresas localizadas no países signatários do Protocolo de Kyoto, precisam adquirir EUA no mercado interno ou externo. A China e a Índia são os maiores produtores mundiais de EUA através de projetos de MDL (WORLD BANK, 2011), percebe-se desta forma a influência da variação cambial nesses

países em relação aos países que pretendem adquirir EUA, principalmente aqueles ligados a zona do Euro.

A inflação tem impacto direto sobre o poder de consumo das pessoas e das empresas, maiores níveis restringem o consumo, ao tempo em que uma maior taxa de juros real reflete o verdadeiro poder de compra de um determinado bem no exterior em comparação com o mesmo bem produzido no país.

O avanço tecnológico, visto como fator endógeno, tem ligação com o crescimento econômico, porque a geração de novas idéias é vista como um bem *excluível* e não tem sido incluída de alguns modelos (JONES, 2000). Sob este prima, observa-se que estas idéias podem contribuir com retornos crescentes à escala e com a concorrência imperfeita (JONES, 2000).

Sob a perspectiva do mercado de carbono o avanço tecnológico é importante devido à possibilidade de migração para fontes limpas de geração de energia, reduzindo-se assim a redução de emissão de gases efeito estufa (GEE), bem como de outros resíduos decorrentes dos fatores produtivos.

2.2.2 Aspectos Regulatórios

O marco regulatório precípua do mercado de carbono é o protocolo de Kyoto, o qual determina a redução dos níveis de emissão para os países signatários durante os períodos de 2005 – 2007 (Fase 1) e 2008 – 2012 (Fase 2). Dentro da União Européia a regulação se dá através das diretrizes emanadas por seu parlamento, tendo como base a *Directive* 2003/87/EC, que criou o regime de comércio de licenças de emissão de gases com efeito de estufa na Comunidade Européia. Esta norma já sofreu diversas alterações visando adequar-se à criação de uma melhor estrutura para o funcionamento do esquema de negociações para seus países-membros.

Dentre os aspectos regulatórios que interferem na precificação dos derivativos de carbono estão as proibições para *banking* (transferência do uso dos EUA para período futuro) e *borrowing* (antecipação do uso EUA de períodos futuros) dos bancos na primeira fase do protocolo. As restrições, impostas pela EU ETS, para a utilização desses recursos interferiu diretamente no mercado, provocando redução da demanda e conseqüentemente a queda do preço (CHEVALLIER, 2009; BENZ, TRÜK, 2009; DASKALAKIS, PSYCHOYIOS, MARKELLOS, 2009).

De acordo com Maeda (2004) as operações de *banking* tem como finalidade conectar os preços de EUAs futuro com o preço *spot*, além de auxiliar conjuntamente com as atividades de *borrowing* a estabilizar os preços dos contratos. As restrições para ambas operações, ou seja, a transferência/antecipação de EUA para negociação entre a primeira e segunda fases, são apontadas como uns dos fatores responsáveis pelo aumento na instabilidade dos preços no fim de cada período (ALBEROLA, CHEVALLIER, 2007) além de contribuir para a redução de liquidez do mercado durante a primeira fase do protocolo (CHEVALLIER *et. al* 2009; MONTAGNOLI, VRIES, 2010; CHEVALLIER, 2009).

Outro acontecimento relevante foi a alocação de permissões durante a fase piloto (2005 – 2007), onde foram distribuídas permissões superiores às necessidades do mercado, existindo assim excesso de EUA, acarretando em uma queda abrupta do preço do EUA em

abril de 2006, após a divulgação de informações pela Comunidade Européia durante o *compliance event*, evento onde são feitos os anúncios sobre o balanço das emissões distribuídas e utilizadas pelas empresas. Um ponto a ser destacado é a forte influência política exercida pela União Européia sob o seu esquema de negociação EU ETS, podendo alterar as regras do mercado, bem como excluir ou incluir novos setores participantes, como ocorreu recentemente com a inclusão do setor de aviação civil.

Pirrong (2011) simulou diferentes alterações na legislação imposta pela EU ETS no intuito de verificar o impacto político nos preços do mercado de carbono, constatando que quando os certificados são emitidos anualmente e expiram após o lançamento dos novos certificados, os preços tendem a despencar, ao tempo que quando eles podem ser estocados os preços tendem a se comportar como de outra *commodity* sazonal. Este resultado revela que a estocabilidade dos certificados influencia no preço deste tipo de produto, corroborando com a afirmação de Pirrong (p. 152, 2011): “*These certificates are human creations, and their characteristics can be established by legislation or regulation*”.

Portanto, os legisladores que tratam das políticas públicas na União Européia possuem a competência legal para influenciar os preços no mercado de carbono através da criação/edição de normas a serem seguidas por seus países-membros.

2.2.3 Aspectos Climáticos

O clima é um dos fatores mais importantes do mercado de carbono, sobretudo por sua vinculação às questões concernentes a fixação das metas de poluição e a criação do próprio mercado. A variabilidade do clima eleva substancialmente o risco de vários setores, desde os ligados ao ramo agropecuário até os ligados ao turismo. No começo da década de 80, em um artigo seminal, Roll (1984) verificou que alguns fatores como clima, safra estocada, notícias do mercado financeiro, dentre outros, não influenciavam significativamente as oscilações diárias ocorridas no importante mercado de suco de laranja dos Estados Unidos. Destacando que o clima apesar de ter forte ligação com a produção, não podia ser considerado como um *driver* dos preços do produto no mercado.

Desde a metade da década de 90 tem se negociado derivativos climáticos com o objetivo de reduzir a exposição das empresas ao risco resultante das mudanças climáticas (JEWSON, BRIX, 2007; CAMPBELL, DIEBOLD, 2003). Este mercado tem crescido substancialmente, acompanhando os problemas com a previsibilidade das mudanças climáticas, de tal forma que os mais variados setores precisam recorrer às diversas formas de proteção contra essas variações, buscando assim a redução de suas perdas (HULL, 2008).

A sazonalidade e as tendências de alterações climáticas, em determinadas regiões, dificultam uma maior precisão acerca da variabilidade do clima, ou seja, o risco é maior. Destarte, faz-se necessário apurar quais fatores afetam as previsões climáticas (CAMPBELL, DIEBOLD, 2003), para que as empresas possam utilizar estes derivativos como instrumento de *hedge*.

O clima não tem influenciado significativamente nos preços dos derivativos de carbono, salvo em casos de variações extremas de temperatura (MANSANET-BATALLER *et al*, 2007). Observa-se que apesar da ligação direta com a geração de diversos tipos de *commodities*, sobretudo os energéticos, o clima não tem se apresentado como um dos fatores mais relevantes para a precificação destes produtos.

2.2.4 Aspectos Energéticos

A eficiência energética, bem como novas fontes de energia são vistas como algumas das soluções para a redução das emissões de gases poluentes, influenciando assim a forma de consumir de energia de acordo com diversas matrizes disponíveis.

Assumiremos como variáveis energéticas o preço do *heating oil* (óleo para aquecimento), do *brent*, do gás natural e da energia elétrica (HULL, 2005; BAILEY, CHAN, 1993; CHEN, 1991). Estas variáveis estão diretamente ligadas ao processo produtivo das empresas e ao consumo da população, ou seja, a necessidade de se adquirir créditos de carbono está relacionada com a utilização dessas fontes. Já Pirrong e Jermakyan (2008) acrescentam a demanda e o preço do combustível como variáveis determinantes do preço *spot* da energia.

Outro ponto importante a ser destacado é a avaliação imprecisa dos preços dos derivativos, especialmente os de energia, acreditando-se com isto, que a falta de uma regulamentação mais forte tenha sido um dos principais causadores da crise financeira de 2007-2008, bem como dos picos no preço da energia em 2008 (PIRRONG, 2009, 2010).

Face à variabilidade dos preços, da oferta e da demanda por energia, este mercado vem sendo considerado muito volátil, portanto arriscado o suficiente para que seus participantes utilizem estratégias de *hedge* para se protegerem. Para tanto tem sido utilizados em grande escala os derivativos de energia, sobretudo pelas empresas geradoras de energia (CAMPBELL, DIEBOLD, 2003; HULL, 2005).

O risco tem sido reduzido também a partir da utilização de outros derivativos correlacionados, sobretudo os climáticos, onde as empresas diminuem suas perdas a partir do travamento das mesmas em níveis aceitáveis para determinados períodos. O grande volume de negociação destes derivativos tem feito com que este mercado se desenvolva, tornando-o um dos maiores do mundo, ao lado dos produtos agropecuários.

2.3 Precificação de Ativos

Um dos problemas mais complexos nas finanças está relacionado à precificação de ativos, onde diversos modelos existentes tentam mensurar com maior acurácia o real valor de um determinado ativo. A busca por uma maior precisão faz com que modelos sejam desenvolvidos na tentativa de capturar as nuances do mercado, que está em constante movimento.

No mercado de carbono, pesquisas acerca da dinâmica dos preços *spot* do CO₂ (MANSANET-BATALLER, PARDO, VALOR, 2007; SEIFERT, UHRIG-HOMBURG, WAGNER, 2008; BENZ, TRUCK, 2009) tem apontado diferentes formas para mensuração deste tipo de ativo.

Durante o período de janeiro a março de 2005 Mansanet-Bataller *et al* (2007) apuraram forte correlação entre os mercados de carbono, observou-se interligação entre a Nordpool (*spot*), Powernext (*spot*) e o índice de CO₂ do mercado futuro OTC da EEX. Foi utilizada a regressão linear multivariada como base para a precificação do preços *spot* do CO₂. No estudo, ainda foram incluídas na equação acima variáveis climáticas relacionadas a Alemanha e Europa visando observar a correlação entre clima e os preços dos títulos de carbono. Apurou-se que a variação dos preços do *brent* e do gás natural são as importantes variáveis para a determinação do preço do CO₂ (MANSANET-BATALLER *et al*, 2007)

Analisando o mercado *spot* e futuro, no período de junho de 2005 até dezembro de 2006, Seifert *et al* (2008), apuraram através da utilização de *Partial Differential Equations*

(PDE) que os mercados de carbono na Powernext (*spot*) e ECX (futuro) ainda são considerados imaturos, além da possibilidade do surgimento de *jumps* no mercado *spot*. Devido às características peculiares do mercado, onde são incluídas as distribuições de permissões pelos governos, os grandes *players*, sobretudo as empresas de energia podem utilizar seus amplos conhecimentos para obter lucros acima do normal (SEIFERT *et al*, 2008).

Os autores utilizaram a equação abaixo para precificar o preço *spot*, onde o valor à vista (S) se iguala ao abatimento dos custos marginais.

$$S(t, x_t) = cu_t = -e^{rt}V(x)$$

Benz e Truck (2009) analisaram o comportamento do preço *spot* dos EUAs no curto prazo, focando na dinâmica e mudanças da volatilidade através de processo estocástico, utilizando uma série de dois anos janeiro de 2005 até dezembro de 2006. Foram utilizados AR-GARCH e o modelo de *regime-switching* com processo autoregressivo para modelar os retornos dos EUAs.

A utilização de modelos tradicionais para precificação de ativos impossibilita a realização de *hedge* quando da ocorrência de *jumps* (JOSHI, 2008). Tendo em vista a dificuldade para prever os movimentos abruptos nas séries de preços, fazendo-se necessário o emprego de modelos mais sofisticados.

Alguns modelos possuem como importante característica a capacidade de captar as nuances observadas no mercado de carbono, auxiliando assim uma melhor compreensão deste jovem mercado. Dentre estes destacamos modelos com componentes de *jump diffusion* e algumas variações do modelo GARCH, sobretudo os modelos EGARCH e GJR. Estes têm sido utilizados para precificar contratos de energia e créditos de carbono.

Quando da utilização de modelos com *jump diffusion* faz-se necessário apurar a frequência em que ocorrem os *jumps*, o tamanho e a variabilidade esperados (BLANCO, SORONOW, 2001). Se houver a inclusão da reversão à média ao modelo os preços dos títulos retornam rapidamente aos valores de antes dos *jumps* sem a necessidade da utilização de correlações seriais mais complexas. Caso não haja essa inclusão os preços tendem a permanecer em níveis mais elevados após o *jump*. Blanco e Soronow (2001) apresentam o seguinte modelo de precificação:

$$S_{t+1} = \alpha(S^* - S_t)\Delta t + S_t\sigma\varepsilon_{1t}\sqrt{\Delta t} + \eta[S_t(K + \delta\varepsilon_{2t})]$$



Mudança no preço entre t+1 e t	Componente de reversão à média	Componente de difusão	Componente de <i>jump</i>
---	--------------------------------------	--------------------------	------------------------------

S^* - Reversão à média ou equilíbrio do preço no longo prazo

S_t - Preço *spot* no tempo t

α - Taxa de reversão à média

σ - Volatilidade geral do processo de difusão

ε - Choque aleatório para o preço de t até $t+1$.

η - Variável que atribui o valor 1 quando há *jump* e zero quando não ocorre.

O valor de η depende da frequência λ do *jump*.

κ, δ - são as expectativas do tamanho do *jump* e do desvio padrão do *jump*.

$\varepsilon_{1t}, \varepsilon_{2t}$ - são duas variáveis aleatórias distribuídas normalmente para os *jumps* e a volatilidade.

Os modelos GARCH tratam as variações, tanto positivas quanto negativas, de maneira simétrica, porém a volatilidade tem comportamento assimétrico, especialmente para os retornos/choques negativos, que tendem a ser maiores que os positivos (BROOKS, 2008; MORETTIN, TOLOI, 2006; OLIVEIRA, 2005).

O modelo EGARCH (GARCH Exponencial) trata-se de uma adaptação do modelo GARCH, criada por Nelson (1991), sendo estes diferenciados pela forma de tratamento dos retornos, enquanto o modelo GARCH tem tratamento simétrico, o modelo EGARCH trata assimetricamente os retornos (BROOKS, 2008; MORETTIN, TOLOI, 2006; OLIVEIRA, 2005).

O EGARCH trata essas assimetrias de tal forma que as variações negativas passam a ter maior volatilidade do que os choques positivos, respondendo de maneira mais veloz aos choques negativos. Este fato é conhecido como “Efeito Alavanca” ou Alavancagem Destarte, esta adaptação do modelo GARCH possui maior acurácia, reduzindo assim maiores distorções na apuração dos resultados desejados. Outro benefício deste modelo é a não imposição de restrições sobre os parâmetros utilizados. (BROOKS, 2008; MORETTIN, TOLOI, 2006).

Chevallier (2011), utilizou-se desse modelo para analisar contratos negociados no mercado de carbono entre abril de 2005 e dezembro de 2008, cujo vencimento era dezembro de 2008.

De acordo com Brooks (2008), o modelo EGARCH pode ser expresso da seguinte forma:

$$\ln(\sigma_t^2) = \omega + \beta \ln(\sigma_{t-1}^2) + \gamma \frac{\mu_{t-1}}{\sqrt{\sigma_{t-1}^2}} + \alpha \left[\frac{|\mu_{t-1}|}{\sqrt{\sigma_{t-1}^2}} - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \right]$$

Já o modelo GJR, proposto por Glosten, Jagannathan e Runkle em 1993, é também considerado uma extensão do modelo GARCH, possuindo um termo adicional capaz de captar possíveis assimetrias nos retornos de determinado ativo (BROOKS, 2008; OLIVEIRA, 2005).

Também conhecido com GARCH-L e TGARCH, o modelo GJR, pode ser exposto da seguinte forma (BROOKS, 2008):

$$\sigma_t^2 = \alpha_0 + \alpha_1 u_{t-1}^2 + \beta \sigma_{t-1}^2 + \gamma u_{t-1}^2 I_{t-1}$$

Onde $I_{t-1} = 1$ se $u_{t-1} < 0$;

= 0 senão

Chevallier *et al* (2009) utiliza o modelo GJR por este acomodar melhor o efeito da alavancagem, em série histórica durante o período entre outubro de 2006 e novembro de 2007. O mesmo modelo é empregado por Chevallier (2009) para calcular estatisticamente a relação entre contratos futuros de créditos de carbono e influências macroeconômicas.

3. Discussões

No mercado de carbono podem ser observados como fatores determinantes dos preços os aspectos climáticos, macroeconômicos, regulatórios e energéticos. Estes tendem a direcionar as séries de preços dos contratos de carbono face ao seu grau de correlação.

Algumas pesquisas (MANSANET-BATALLER, PARDO, VALOR, 2007; SEIFERT, UHRIG-HOMBURG, WAGNER, 2008; BENZ, TRUCK, 2009) tem apontado alguns modelos tradicionais para apurar o valor dos contratos de carbono. Porém tais modelos não são capazes de captar os movimentos do mercado de tal forma que os riscos possam ser reduzidos através de estratégias de *hedge*.

Os *jumps* verificados no mercado de carbono devem ser observados quanto ao grau de intensidade e regularidade para uma correta aplicação do modelo. Destarte, os modelos com componentes de *jump diffusion* também são capazes de acompanhar com acurácia as variações observadas nos peculiares contratos de carbono, sobretudo com a inclusão de componente de reversão à média.

Já a utilização de instrumentos mais refinados como as variações do modelo GARCH, sobretudo o GJR e o EGARCH, possuem características capazes de absorver as nuances do mercado de carbono, como as quebras estruturais e o efeito da alavancagem.

4. Considerações Finais

Alguns aspectos são determinantes na influência das séries de preços no mercado de carbono, estes são capazes de provocar *breaks* inesperados, dificultando assim a precificação e a proteção dos risco inerente a esse tipo de operação, ou seja, impedindo o gestor de realizar o *hedge* quando do gerenciamento de seu risco.

Os modelos que possuem componentes de *jump diffusion* e de reversão à média mostram-se capazes de capturar os movimentos abruptos das séries de preços do mercado de

carbono, proporcionando assim, uma maior precisão na precificação dos contratos negociados.

Sob a mesma visão, modelos EGARCH e GJR também são capazes de acompanhar as quebras nas séries de preços no mercado de carbono. O primeiro trata assimetricamente os retornos analisados, reduzindo assim maiores distorções quanto à precificação dos contratos. O segundo modelo também é capaz de capturar as referidas assimetrias, reduzindo também possíveis distorções na avaliação dos títulos analisados.

Por ser um mercado em expansão e peculiar, o EU ETS deve ser analisado constantemente no intuito de observar mudanças em suas características peculiares e consequentemente nos métodos de precificação de seus contratos.

5. Referências

- ALBEROLA, Emilie; CHEVALLIER, Julien, 2007 European carbon prices and banking restrictions: evidence from phase I (2005-2007) **Document de Travail - Working Paper**. n. 2007-32. Paris: 2007. Disponível em 24/10/2012 na: [www. http://economix.fr/](http://economix.fr/)
- AMADO, Carlos Flávio Pedroza; CARMONA, Charles Ulisses de Montreuil. Uma Análise da Eficiência dos Mercados Futuros Agrícolas Brasileiros. **IV Encontro Brasileiro de Finanças**. Coppead/UFRJ, 22 a 23 de Julho, 2004.
- BAILEY, Warren; CHAN, K. C., Macroeconomic influence and the variability of the commodity future basis. **The Journal of Finance**. V. 48, n. 2, p. 555-573, Jun 1993
- BENZ, Eva; TRÜCK, Stefan. Modeling the Price Dynamics of CO2 Emission Allowances. **Energy Economics**, v. 31, p. 4-15, 2009.
- BERK, Jonathan; DEMARZO, Peter **Finanças Empresariais** Porto Alegre, Artmed: 2008.
- BLANCHARD, Olivier **Macroeconomia**, 3. ed. São Paulo, Pearson: 2004.
- BLANCO, Carlos; SORONOW, David Jump diffusion process: energy price processes used for derivatives pricing & risk management **Commodities Now** Disponível em www.fea.com, p. 80-83, September, 2001.
- BROOKS, Chris. Introductory econometrics for finance. 2. Ed. New York: Cambridge University Press, 2008.
- CAMPBELL, Sean D.; DIEBOLD, Francis X., Weather Forecasting for weather derivatives. **NBER Working Paper** No. 10141, 2003. Disponível em www.nber.org/papers/w10141 Acesso em 26/10/2010.
- CHEVALLIER, J. Carbon Futures and Macroeconomic Risk Factors: a View from the EU ETS. **Energy Economics**, n. 31, p. 614-625, 2009.
- _____ Detecting instability in the volatility of carbon prices. **Energy Economics**, n. 33, p. 99-110, 2011.

_____; IELPO, Florian; MERCIER, Ludovic. Risk aversion and institutional information disclosure on the European carbon market: a case-study of the 2006 compliance event. **Energy Policy**, n. 37, p. 15-28, 2009.

CHEN, Nai-Fu. Financial Investment Opportunities and the Macroeconomy **The Journal of Finance**. v. 46, n. 2, p. 529-554, Jun 1991

_____; ROLL, Richard; ROSS, Stephen A. Economics Forces and the Stock Market. **The Journal of Business**, v. 59, n 3, p. 383-403, Jul. 1986.

CONVERY, Frank J.; REDMOND, Luke. Market and price Development in the European Union Emission Trading Scheme. **Review of Environmental Economics and Policy**, v. 1, n. 1, p. 88-111, winter, 2007.

DASKALAKIS, George; MARKELLOS, Rafael N. Are the European Carbon Markets Efficient? **Review of Futures Markets**, v. 17, n. 2, p. 103-128, 2008.

DASKALAKIS, George; PSYCHOYIOS, Dimitris; MARKELLOS, Rafael N. Modeling CO₂ Emission Allowance Price and Derivatives: evidence from the European trading scheme **Journal of Banking & Finance**, n. 33, p. 1230-1241, 2009.

EUROPEAN CLIMATE EXCHANGE (CCX). Disponível em: www.ecx.eu Acesso em: 12 jul. 2010.

EUROPEAN ENERGY EXCHANGE (EEX). Disponível em: www.ecx.eu Acesso em: 12 jul. 2010.

GAGLIARDI, Valerio. **European Union Emission Trading Scheme: A Model for Valuation and Hedging of Emission Unit Allowances Derivatives**. Dissertação (Mestrado) – Copenhagen Business School, Copenhagen, May. 2009.

GLOSTEN, L. R., JAGANNATHAN, R. e RUNKLE, D. “On the relation between the expected value and the volatility of the nominal excess of return on stocks. **The Journal of Finance**. vol. 48 n. 5, 1993.

GUAY, Wayne; KOTARI, S. P. How much do the firms hedge with derivatives? **Journal of Financial Economics**. n. 70, p. 423-461, 2003.

HULL, Jonh C. **Fundamentos dos mercados futuros e de opções**. São Paulo: Bolsa de Mercadorias e Futuros, 2005.

_____. **Options, futures and other derivatives**. 7. ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2008.

JEWSON, Stephen; BRIX, Anders, **Weather Derivatives Valuation**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007

JONES, Charles Irving **Introdução à teoria do crescimento econômico** São Paulo: Campus, 2000.

JOSHI, Mark S. The concepts and practice of mathematical finance 2.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

KNOX-HAYES, Janelle. The Developing Carbon Financial Service Industry: Expertise, adaptation and complementarity in London and New York. **Journal of Economic Geography**, v. 9, p. 749-777, 2009.

LOPES, Alexsandro Broedel; GALDI, Fernando Caio; LIMA, Iran Siqueira **Manual de contabilidade e tributação de instrumentos financeiros e derivativos** São Paulo: Atlas, 2009.

Maeda, A. 2004. Impact of Banking and Forward Contracts on Tradable Permit Markets. **Environmental Economics and Policy Studies**, n. 6, 81–102, 2004.

MANSANET-BATALLER, Maria; PARDO, Angel; VALOR, Eric. CO₂ prices, energy and weather. **The Energy Journal**, v. 28, n. 3, p. 73-92, 2007.

MARQUES, Pedro Valentim; MELLO, Pedro Carvalho; MARTINS FILHO, João Gomes. **Mercados futuros agropecuários: exemplos e aplicações para o mercado brasileiro**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

MONTAGNOLI, Alberto; VRIES, Frans P. de Vries. Carbon trading thickness and market efficiency **Energy Economics**, n. 32, p.1331-1336, 2010.

MORETTIN, Pedro A.; TOLOI, Clélia M. C. **Análise de séries temporais** 2.ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2006.

NELSON, D. B. “Conditional heterocedasticity in asset returns: a new approach”. **Econometrica**, vol 59 n. 2, p. 347-370, 1991.

OLIVEIRA, Marcos Roberto Gois de, **Gerenciamento do risco de mercado baseado no value at risk estático e dinâmico para carteiras de ações e opções negociadas na BOVESPA**. Tese (Doutorado) – Programa de pós-graduação em economia, Universidade Federal de Pernambuco, 2005.

PIRRONG, Craig, Market Oversight for Cap-and-trade: efficiently regulating the carbon derivatives market **Energy Security Initiative Policy Brief** 09-04, 2009

_____, Energy market manipulation: definition, diagnosis and deterrence. **Energy Law Journal**, v. 31, n. 1, 2010.

_____, JERMAKYAN, Martin The price of power: The valuation of power and weather derivatives **Journal of Banking & Finance**, n. 32, p. 2520-2529, 2008.

_____, Commodity Price Dynamics: A Structural Approach. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.

ROSS, Stephen A.; WESTERFIELD, Randolph W.; JAFFE, Jeffrey F. **Administração Financeira**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

ROLL, Richard Orange Juice and weather **The American Economic Review**. v. 74, n. 5, p. 861-880, 1984.

SCOTT, William R. **Financial Accounting Theory**. 5. ed. Toronto: Pearson – Prentice Hall, 2009.

SEIFERT, Jan; UHRIG-HOMBURG. Marliese; WAGNER, Michael. Dynamic behavior of CO₂ spot prices. **Journal of Environmental Economics and Management**. v. 56, p. 180-194, 2009.

SOMOYE, Russel O. C.; AKINTOYE, Ishola R.; OSENI, Jimoh E. Determinants of Equity Prices in the Stock Markets. **International Research Journal of Finance and Economics**. n. 30, p.177-189, 2009.

SMITH; Clifford W.; STULZ, Rene M. The Determinants of Firms' Hedging Policies. **The Journal of Financial and Quantitative Analysis**, v. 40, n. 4, p. 391-405, Dec. 1985.

WORLD BANK Projects & Operations. Disponível em http://www.worldbank.org/projects/search?lang=en&searchTerm=&theme_exact=Climate%20change , acesso em 18/10/2011.