

# UMA REVISÃO SISTEMÁTICA SOBRE OS MECANISMOS DE MONITORAMENTO E CAPTURA, REGULAÇÃO DE EMISSÕES E CRÉDITOS DE CARBONO

**Diogo José Horst e Pedro Paulo de Andrade Júnior**

Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciências Mecânicas (Pós-ECM), Perini Business Park, UFSC/Campus Joinville - Bloco U, Rua Dona Francisca, 8300, Pirabeiraba, Joinville - SC – Brasil, 89.219-600. Phone/Fax: +55(47) 3204-7439. E-mail: [diogohorst@gmail.com](mailto:diogohorst@gmail.com)

*Recibido: 18-12-19; Aceptado: 20-03-20; Publicado online: 30-07-20.*

**Resumo** - Este estudo apresenta uma revisão sistemática de trabalhos publicados em periódicos de alto impacto sobre os mecanismos de monitoramento e de regulação de emissões, de sequestro (captura), e de créditos de carbono, abordando principalmente o setor florestal. A busca por estudos foi realizada nas bases de dados ScienceDirect e Scopus. Foi identificada uma lacuna referente a estudos que apresentem ações junto ao setor privado, equipamentos e processos e mobilidades urbanas, em contrapartida, foram encontrados diversos estudos que apresentam contribuição significativa sobre emissões de gases e mudanças climáticas (pegada de carbono) e modelos matemáticos sobre o mercado de carbono, principalmente em países desenvolvidos.

**Palavras-chaves:** Mercado de Carbono; Emissões de gases do efeito estufa; Mudanças Climáticas; Política Florestal.

## A SYSTEMATIC REVIEW ON MONITORING AND CAPTURE MECHANISMS, EMISSIONS REGULATION AND CARBON CREDITS

**Abstract** - This study presents a systematic review of papers published in high impact journals regarding the monitoring and regulation mechanisms of emissions, sequestration (capture), and carbon credits, mainly focusing on the forest sector. The search for studies was performed using the ScienceDirect and Scopus databases. A gap was identified regarding studies that present actions with the private sector, equipment and processes and urban mobilities, in contrast, several studies were found that present significant contribution on gas emissions and climate change (carbon footprint) and mathematical models on the carbon market, especially in developed countries.

**Keywords:** Carbon market; Greenhouse gas emissions; Environment; Climate Change; Forest Policy.

### 1. INTRODUÇÃO

O conceito de crédito de carbono surgiu da crescente conscientização da necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa para combater o aquecimento global, formalizado no protocolo de Kyoto (Wong et al., 2009). Existe um amplo consenso de que a humanidade deve reduzir as emissões de carbono para mitigar o aquecimento global. É geralmente aceito que o comércio de emissões de carbono é um dos mecanismos mais eficazes de mercado para reduzir a quantidade de emissões de carbono (Hua et al., 2011). As florestas são importantes do ponto de vista climático, porque permitem que o carbono seja sequestrado, formando de biomassa ou armazenado em produtos florestais (Vass & Elofsson, 2016). Elas atuam como sumidouros de carbono contribuindo significativamente para os esforços de mitigação das mudanças climáticas (Håbesland et al., 2016). Os benefícios ambientais e de melhoria de subsistência das

florestas se estendem além da mitigação das mudanças climáticas, os programas de reflorestamento que normalmente são motivados apenas pelos benefícios do carbono também têm o potencial de melhorar os meios de subsistência, reduzir as disparidades de gênero e fornecer benefícios ecossistêmicos não relacionados ao carbono com seleção apropriada de terras e envolvimento das comunidades locais na governança (Senadheera et al., 2019).

Numa perspectiva de longo prazo, a Comissão Europeia (2011) propôs um roteiro para a transição para uma economia competitiva de baixo carbono até 2050. Este roteiro propõe reduções nas bacias verdes entre 80 e 95% até 2050 em comparação com o nível de 1990. Ele se concentra em atingir essa faixa de custo de maneira eficiente, implicando que a inclusão de opções de redução de baixo custo, como a extração de carbono florestal, precisa ser avaliada. Entretanto, os mercados de crédito de carbono sofrem falhas

aparentemente inescapáveis que podem justificar abordagens alternativas, como impostos sobre carbono, uma completa eliminação das emissões de dióxido de carbono ou um fundo global de carbono. Nos próximos anos, devemos lembrar que os créditos não são as únicas opções políticas sensatas para responder às mudanças climáticas (Sovacool, 2010).

Dentro deste contexto, este estudo apresenta uma revisão sistemática sobre os mecanismos de monitoramento e de regulação de emissões, de sequestro, e de créditos de carbono, abordando principalmente o setor florestal, buscando contribuir com a evolução do tema.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Ações no Setor Florestal.

Senadheera et al., (2019) propõe o Projeto Hiniduma Bio-link o qual é mantido pela Conservation Carbon Company no Sri Lanka. Além do benefício direto da proteção das florestas na redução das emissões de carbono e aumento do sequestro de carbono, os projetos florestais geram benefícios indiretos chamados co-benefícios que podem ser vinculados à agenda nacional dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) e aos impactos de carbono florestal em projetos de carbono florestal. Igual ou de maior importância para os compradores de reduções de emissões. O Hiniduma Bio-link, oferece créditos de carbono com valor agregado para organizações e pessoas social e ambientalmente conscientes. É um projeto de reflorestamento para estabelecer um corredor de biodiversidade entre duas grandes manchas remanescentes protegidas da floresta do Sri Lanka - Singharaja e Kanneliya. Além de mitigar a questão mais ampla da mudança climática, o projeto ajuda a (1) conservar bosques limitados de floresta fornecendo buffers e um corredor seguro entre os dois fragmentos florestais protegidos para ajudar a reduzir as ameaças à biodiversidade local e à vida selvagem das comunidades humanas adjacentes, e (2) melhorar os meios de subsistência dos agricultores e proprietários locais, proporcionando oportunidades de treinamento e geração de renda. O Projeto de Bio-link realiza isso através do reflorestamento de hortas domésticas de fazendeiros tradicionais na região da zona úmida de terras baixas através do conceito de florestas analógicas. Juntamente com a estimativa de biomassa da linha de base do projeto da fase piloto selecionada, a economia de carbono das árvores recém-plantadas foi calculada e registrada para créditos de carbono. MoorFutures® é o primeiro esquema de créditos de carbono do mundo a partir de um novo reenchimento de turfa. Até agora, os MoorFutures® contam com proxies (tipos de sítios de emissão de gases de efeito estufa ou GESTs para estimar as reduções de emissões. Günther et al., (2018) testam a rentabilidade de incluir medições diretas de gases de efeito estufa (GEE) das emissões do projeto para uma série de custos de reumidificação e cenários de vegetação baseados em um hipotético projeto MoorFutures®. Em quase todos os cenários, as avaliações do GEST subestimaram as reduções de emissões em comparação com as medições diretas. A inclusão de medições diretas foi lucrativa em > 50% de todas as combinações de cenários de vegetação / reumidificação com lucros líquidos variando de EUR - 8,18 a 26,31 por certificado. A lucratividade foi alcançada ao recuperar os custos de € 5400 ha-1 para cima. Medições mais sofisticadas de GEE tornaram-se lucrativas com o dobro dos custos de reumidificação. Nos casos em que as medições diretas de fluxo não geram lucro, elas podem fortalecer a confiabilidade

e a confiança dos compradores e, assim, suportar preços mais altos dos certificados.

Man et al., (2014) investigaram o inventário de três propriedades florestais gerenciadas ativamente localizadas nas regiões costeiras, do Interior Central e do norte da Floresta Britânica para estimar o custo para produzir créditos de carbono (\$ por crédito de carbono) quando a colheita é reduzida abaixo do nível de referência. A análise financeira foi realizada em uma faixa de taxas de desconto (0–16%) e o custo total incluiu o custo de oportunidade devido à redução da colheita e custo do projeto de Carbono (o estabelecimento inicial e custo de validação do projeto Carbono e o custo de verificação contínua para dois frequências (1 ano e 5 anos). Quando o custo de oportunidade não foi incluído, o custo por crédito de Carbono foi semelhante aos resultados anteriores (menor custo por crédito de carbono para maior índice de localização (ou seja, altura máxima em metros aos 50 anos). No entanto, quando o custo de oportunidade foi incluído, o custo por crédito de Carbono foi maior para os índices mais altos de local que correspondiam ao maior valor médio por hectare colhido (AVHH) (ou seja, a receita de madeira multiplicada pelo volume médio colhido por hectare por ano). A reversão de tendências é o resultado da receita média de madeira sendo maior para os índices mais altos de site, o que resultou em um maior custo de oportunidade e maior AVHH. O custo de oportunidade representou 58% a 97% do custo por crédito de carbono. Em comparação com a verificação de 5 anos, a frequência de verificação de 1 ano aumentou o custo total por crédito de carbono em 1% a 22%, sendo o menor aumento quando o custo do projeto de carbono representou um pequeno percentual do custo total. As estimativas para as três propriedades florestais aqui analisadas representam três pontos de um espectro maior, e identificam o custo por crédito de carbono em uma faixa de índices locais (14,7 a 25,6 metros de altura máxima aos 50 anos), AVHH (12,2 a 63,7 mil dólares). ha-1 ano-1) e receita líquida de madeira (US \$ 4 a US \$ 35 m-3). Mais pesquisas são necessárias para determinar se as tendências encontradas neste estudo se mantêm sobre um espectro mais densamente povoado.

Juutinen et al., (2018) examinaram a viabilidade e os impactos de um mecanismo de pagamento de carbono de curto prazo no manejo florestal em florestas boreais. Diferentemente dos compromissos de sequestro de carbono em longo prazo durante um período de rotação, os proprietários de terras podem, neste esquema, vender créditos de carbono temporal armazenado por um ano e reemitir-los anualmente. Usando a otimização numérica, mostramos que o mecanismo de pagamento de carbono de curto prazo tem um efeito profundo no tempo e intensidade do desbaste, e a duração ótima da rotação, mostrando-se em maior rendimento de madeira e maior lucratividade. Uma comparação do caso em que todo o carbono ou apenas carbono adicional acima do valor de referência de manejo da madeira é contabilizado pelo esquema de pagamento de curto prazo mostra que o manejo florestal ótimo permanece mais ou menos o mesmo. No entanto, o aumento na lucratividade da silvicultura introduzida pelos créditos de carbono é relativamente pequeno, se apenas carbono adicional for creditado. Portanto, o mecanismo de curto prazo pode ser viável apenas sob preços elevados de carbono e provavelmente aumentaria o comprimento de rotação de povoamentos maduros com a exigência de adicionalidade em florestas boreais.

O trabalho de Barua et al., (2014) contribui para a economia do desmatamento, apresentando um modelo dinâmico, com

horizonte infinito formal, descrevendo o uso de recursos da floresta tropical. Como uma alternativa para limpar a floresta, um proprietário de terras tem a opção de vendê-lo para um programa internacional de créditos de carbono. O modelo é usado para investigar os programas de incentivos corretivos necessários para garantir um nível socialmente ótimo de recursos florestais. Condições ótimas para um imposto de renda da terra e uma taxa de compensação de carbono são derivadas. O artigo mostra que a otimização das políticas nacionais de compensação de carbono depende crucialmente da tributação da renda da terra. Na presença de um programa ideal de subsídio de imposto sobre a renda da terra, o governo pode precisar repassar aos proprietários a mesma compensação de carbono que recebe da comunidade internacional para garantir um estoque florestal tropical socialmente ótimo. No entanto, o governo pode precisar sobre-transferir ou sub-transferir a compensação de carbono, dependendo se o imposto de renda predial preexistente está abaixo ou acima do nível ótimo, respectivamente. Isso sugere que a subotimização preexistente na tributação da renda da terra em um determinado país pode ser corrigida pelo ajuste da compensação de carbono. Portanto, um esquema de compensação de carbono deve levar em conta as políticas nacionais existentes que afetam o desmatamento da floresta.

As terras florestais familiares do país podem ser um importante contribuinte para os esforços de sequestro de carbono. No entanto, muito pouco se sabe sobre como os proprietários de terras florestais familiares veem programas que lhes permitem vender créditos de carbono gerados a partir do crescimento de suas florestas e a compensação que seria necessária para incentivar um nível significativo de participação. Para resolver essa lacuna de informações, Miller et al., (2012) realizaram um estudo para identificar e quantificar o interesse dos proprietários de terras florestais da família em participar de um programa voluntário de comercialização do mercado de carbono nos Estados do Lago, EUA. Uma pesquisa por correio foi administrada a 2.200 proprietários de florestas familiares selecionados aleatoriamente em Michigan, Wisconsin e Minnesota. O questionário avaliou o interesse de proprietários rurais em participar de um programa hipotético de comercialização de créditos de carbono e buscou informações sobre objetivos e práticas dos proprietários de terras, perspectivas sobre programas de créditos de carbono e características da terra florestal. Um total de 850 respostas úteis foram recebidas. Um modelo de regressão logística foi desenvolvido para examinar os fatores que afetam a participação em um projeto de compensação de carbono florestal por proprietários florestais familiares e estimar a probabilidade de participação de proprietários de terra. Os resultados mostram que as características do programa de carbono, juntamente com as características do proprietário e da parcela, estão associadas à decisão de participar de um programa de crédito de carbono. Especificamente, quantia de pagamento de crédito de carbono, duração do contrato, gênero, valor colocado em outras amenidades florestais não mercantis, necessidade de renda adicional, atitude em relação à mudança climática, status de ausente, posse de terra e acres totais foram considerados determinantes significativos. Nossas descobertas indicam que o gerenciamento de sequestro de carbono pode se alinhar com as metas de propriedade de muitos proprietários de florestas familiares nos Estados do Lago.

Na Noruega, os proprietários de florestas familiares possuem 80% de áreas florestais produtivas e desempenham um papel

central na gestão das florestas do país. No entanto, pouco se sabe se esses proprietários de terras estariam interessados em aumentar o sequestro de carbono em suas terras e vender créditos de carbono. Apenas um punhado de estudos examinou os fatores que motivam proprietários de florestas familiares a participar de programas de compensação de carbono, e todos esses estudos foram conduzidos nos Estados Unidos. Håbesland et al., (2016) abordou essa lacuna de informações usando dados de uma pesquisa por correio com 1500 proprietários de florestas familiares norueguesas. Um modelo de regressão logística foi desenvolvido para examinar o efeito de várias características do programa de carbono, floresta e proprietário da terra na participação em um programa hipotético de compensação de carbono. Os resultados sugerem que há uma quantidade considerável de interesse entre os proprietários florestais familiares noruegueses e que os mais importantes indicadores de participação são a quantidade de pagamento oferecida, as barreiras percebidas pelas ações gerenciais, a importância dada às amenidades florestais não mercantis e as atitudes em relação às mudanças climáticas.

### *2.2 Ações no Setor Privado.*

Zhang & Li (2018) realizaram uma análise de risco de seis bancos chineses envolvidos no financiamento de carbono. O fator cópula é introduzido para simular o risco de crédito de financiamento de carbono correspondente e o risco de mercado por variáveis latentes em um método indireto. Em suma, os quatro fatores comuns no financiamento de carbono - taxas de câmbio, taxas de juros, preços de RCEs e preços do petróleo Brent - são analisados e explorados em uma abordagem de fator de cópula que incorpora os modelos KMV, GARCH em duas etapas. Os modelos KMV e GARCH são usados para gerar dados que refletem o risco geral de crédito e mercado associado a cada banco. Ambas as funções de cópula normal e t-cópula são usadas para simular as estimativas de parâmetros para comparação de uma nova maneira. O valor em risco para cada um dos seis bancos é calculado por meio de simulação de Monte Carlo e comparado. Além disso, calculamos as estimativas de choque para cada fator para explorar as mudanças no risco de crédito e no risco de mercado, dados os choques econômicos, e também fazemos uma análise hipotética do impacto da crise financeira sobre fatores comuns. No geral, nossos resultados revelam que as taxas de câmbio e os preços do petróleo são os fatores-chave a serem considerados no financiamento de carbono. O Ping An Bank está enfrentando o maior risco de todos os bancos da amostra, enquanto o Banco Industrial e Comercial da China está apresentando o menor risco. Os resultados dessa análise forneceram algumas informações sobre o comércio interno de carbono e a conectividade dos mercados de carbono.

### *2.3 Ações em Equipamentos e Processos.*

Kumar (2013) realizou a avaliação térmica e econômica de um sistema de destilação solar híbrido (PVT) ativo incorporando o efeito de subsídio, benefício fiscal, inflação e custos de manutenção é apresentada para a condição climática de Nova Delhi (Índia). A análise é baseada em custeio anualizado e por expectativa de vida útil de 15 e 30 anos. Além disso, a emissão / mitigação de CO<sub>2</sub> e a receita auferida devido ao crédito de carbono são levadas em consideração conforme as normas do Protocolo de Kyoto para a Índia. O fator de produção de energia (EPF) e a eficiência de conversão do ciclo de vida (LCCE) são de 5,9% e 14,5%, respectivamente, para a vida útil esperada de 30 anos. Os custos de produção de energia e destilados são encontrados

em Rs. 0,85 / kWh e Rs. 0,75 / L, respectivamente, contabilizando o crédito de carbono ganho. O período de retorno do custo é estimado em 4,2 anos, se o destilado é vendido a uma taxa de Rs. 6,0 / L no mercado local.

A implementação de logística reversa de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos (WEEE) e seus componentes tem sido uma grande preocupação para o governo brasileiro e para o setor privado nas últimas décadas. Caiado et al., 2017 propõe uma descrição do mercado brasileiro de descarte adequado ou de créditos de logística reversa (RLC) e também uma analogia com o mercado de créditos de carbono. Para tanto, foi realizada uma pesquisa descritiva, com foco no estudo do mercado de RLC de REEE no Brasil. Alguns especialistas envolvidos neste contexto foram consultados sobre as suas perspectivas para este mercado e as principais motivações para a eliminação ambientalmente adequada dos REEE. Foi descoberto que a maioria das partes interessadas concorda que o mercado de crédito de logística reversa é uma possibilidade, mas atualmente existem vários obstáculos para sua implementação. Em relação à comparação do RLC com o mercado de créditos de carbono, ainda há muitos aspectos a serem desenvolvidos antes que o mercado de RLC se torne realidade. O mercado brasileiro de RLC ainda não tem nenhum suporte legal para trabalhar, nenhuma organização para controlar e auditar o mercado e nenhum apoio do governo.

Agrawal & Tiwari (2015) efetuaram a análise de desempenho em termos do efeito do crédito de carbono ganho no custo uniforme anualizado do coletor de ar térmico fotovoltaico híbrido com base na energia térmica anual e exergia foram analisados para as condições climáticas de Nova Déli. O efeito das taxas de juros sobre o custo uniforme anualizado também foi avaliado. Durante a análise da vida útil (30 anos), a redução de emissão de carbono chega a Rs 109.242 e Rs 25275.6 com base na energia térmica geral e base de exergia. Também foi observado que há uma redução significativa no custo uniforme anualizado devido ao crédito de carbono ganho.

Rajoria et al., (2016) investigaram uma nova abordagem no diagrama de fluxo de caixa para investigar o efeito do tempo de retorno de energia e créditos de carbono ganhos no custo do ciclo de vida de diferentes sistemas de painéis térmicos fotovoltaicos, para isso três tipos de configurações foram consideradas, a saber: (i) arranjo PVT tipo opaco (caso A), (ii) arranjo de células solares (SCT) (caso B) e (iii) arranjo semitransparente (caso C). Os desempenhos de todos os casos acima foram calculados usando três métricas básicas. Estes são o tempo de retorno de energia (EPBT), o fator de produção de energia (EPF) e a eficiência de conversão do ciclo de vida (LCCE). Quando o efeito do EPBT é considerado no fluxo de caixa do sistema de arranjo PVT, o custo uniforme anualizado aumentou em 7,0% para o valor mais baixo e 16,5% para o valor mais alto, tanto na base de energia quanto na base de exergia. Os valores refletidos nessa abordagem são mais realistas do que a abordagem convencional. Considerando o efeito dos créditos de carbono ganhos e EPBT sobre o custo uniforme anualizado do sistema de arranjos PVT, o valor mais elevado do custo uniforme anualizado é indicativo de um sistema melhor e eficiente que tem a capacidade de compensar o custo incorrido no sistema. Também foi observado que, entre todos os casos, o caso C é um melhor desempenho em termos de energia e exergia.

Além da contribuição para o desenvolvimento sustentável com a recuperação de energia na forma de metano, os créditos de carbono podem ser reivindicados pela aplicação de processos anaeróbicos avançados no tratamento de águas residuais para reduzir as emissões de gases de efeito estufa. Como os sistemas granulares anaeróbios são capazes de suportar altas cargas orgânicas concomitantes com efluentes de alta resistência e curto tempo de retenção hidráulica, eles poderiam render muito mais créditos de carbono do que outros sistemas anaeróbicos convencionais. Como os sistemas granulares anaeróbios são capazes de suportar altas cargas orgânicas concomitantes com efluentes de alta resistência e curto tempo de retenção hidráulica, eles poderiam render muito mais créditos de carbono do que outros sistemas anaeróbicos convencionais. Os processos anaeróbios granulares tornaram-se uma opção atraente de tecnologia de tratamento, especialmente para águas residuais de alta resistência, considerando o fato de que, além da degradação eficiente dos resíduos, os créditos de carbono podem ser usados para gerar receita e financiar o projeto.

Dentro deste contexto, Show & Lee (2008) apresentam um cenário de redução de emissões com base em um projeto de recuperação e utilização de metano. Um exemplo de análise sobre redução de emissões e tendência futura também é descrito. Wong et al., (2009) investigaram o potencial de crédito de carbono derivado de reatores anaeróbios de manta de lodo (UASB) de escala laboratorial com base em uma análise de balanço de carbono. A redução de emissão de metano pode ser calculada calculando a diferença de reatores UASB e sistemas de tratamento de lagoa aberta. Com base no reator de 2,5 l em escala de bancada, a redução total de emissões de CH<sub>4</sub> foi calculada como 29 kg de CO<sub>2</sub> / ano. Ao escalar até um digestor anaeróbico em escala natural típico, a redução total de emissões de CH<sub>4</sub> poderia alcançar uma redução de 46.420 toneladas de CO<sub>2</sub> por ano. Os créditos de carbono estimados seriam de US \$ 278.500 por ano, assumindo um preço de carbono de US\$ 6 por tonelada métrica de redução de CO<sub>2</sub>. A análise postulou que é financeiramente viável investir no sistema avançado de tratamento granular anaeróbico a partir da receita gerada pelos créditos de carbono.

#### *2.4 Ações na Mobilidade Urbana.*

O congestionamento do tráfego contribui para o problema da poluição do ar devido ao aumento dos comportamentos de marcha lenta, frenagem e aceleração. Li et al., (2018) propõe um esquema ótimo de cobrança de crédito dinâmico que pode redistribuir os fluxos de tráfego para atingir as metas de mobilidade e emissão. Primeiro, o modelo de transmissão celular é usado como modelo dinâmico de carregamento de rede para capturar a propagação do fluxo e o equilíbrio dinâmico do usuário (DUE) é formulado para investigar a redistribuição de fluxo em termos de escolhas de caminho simultâneo e de partida no esquema de cobrança de crédito de carbono. Com base nisso, uma formulação de dois níveis é proposta para descrever o jogo de Stackelberg entre o gestor rodoviário e os usuários das rodovias. Para o nível superior, o gestor de estradas procura minimizar o tempo de viagem do sistema e as emissões, implementando esquemas de cobrança de crédito. Para o nível inferior, os usuários heterogêneos encontram o equilíbrio dinâmico do usuário por meio de opções simultâneas de caminho e horário de partida sob determinados esquemas de cobrança de crédito. Dada a propriedade não convexa do modelo de dois níveis, este artigo propõe o algoritmo de busca de padrões incorporado ao método de projeção. Resultados computacionais na rede em

forma de X, Ziliaskopolous e Nyguen-Dupuis são dados para mostrar a aplicabilidade do algoritmo proposto em redes de tamanho razoável. Os resultados mostram que o projeto de tempo mínimo de viagem nem sempre gera interruptores de trajeto e de partida eficazes em todos os grupos de usuários, especialmente para usuários com alto valor de tempo de viagem, enquanto o design de crédito de emissões mínimas produz ajustes comportamentais desejáveis. Além disso, o projeto de crédito de tempo mínimo de viagem nem sempre gera emissões mínimas de carbono na rede, especialmente em redes com pares e caminhos O-D complexos. Esta pesquisa lança luz sobre como programar um esquema de cobrança de crédito variável no tempo para atingir as metas de mobilidade e emissão. As implicações políticas do esquema de cobrança de crédito são fornecidas.

A regulamentação ambiental baseada em desempenho ganhou popularidade como uma ferramenta política para evitar as mudanças climáticas. A Califórnia implementa um regulamento do Padrão de Combustível de Baixo Carbono para reduzir a intensidade média de carbono dos combustíveis em 10%, sem especificar tecnologias para atingir a meta. Um mercado de comércio de carbono é estabelecido para facilitar os produtores de combustível que geram receita produzindo combustíveis renováveis de segunda geração de baixo carbono. Existe uma lacuna de conhecimento no entendimento das interações entre os mercados de commodities e de comércio de carbono sob a regulamentação baseada no desempenho. Hu & Chen (2019) propõe um programa matemático com um modelo de restrições de equilíbrio para encontrar o portfólio de energia de transporte de equilíbrio sob a política de proteção ambiental. O modelo utiliza as condições de optimalidade de Karush-Kuhn-Tucker para representar a maximização do lucro dos fornecedores de combustível. O lucro é contado no mercado de commodities e no mercado de comércio de carbono. Nossos resultados mostram que o crédito de carbono incentiva a produção de biocombustíveis de segunda geração, que desempenha um papel crítico no sucesso do Padrão de Combustível de Baixo Carbono. O preço do crédito de carbono é impulsionado pelo cumprimento das regulamentações de intensidade de carbono, que comprovamos por meio de formulação matemática e análise de dados empíricos. A redução da intensidade de carbono é a chave para promover o baixo desempenho do biobutanol com base na política de combustível de baixo carbono. A estrutura proposta, com pequenos ajustes, pode ser usada para avaliar a regulamentação baseada em desempenho em outros campos. Enquanto a floresta urbana é considerada uma fonte elegível de créditos de compensação de carbono, pouco se sabe sobre o seu potencial de mercado e os aspectos de qualidade dos créditos. À medida que os fornecedores de crédito aumentam em número e os compradores de crédito ficam mais interessados em comprar créditos de carbono, não está claro se e como os créditos de carbono florestal urbano podem ter desempenho em relação aos outros tipos de créditos de carbono disponíveis no mercado. A entrega de créditos de qualidade seria crucial, especialmente em mercados voluntários, como os EUA, onde os compradores têm maior probabilidade de se comprometer a reduzir suas emissões de GEEs e manter uma imagem pública positiva do que apenas cumprir os regulamentos. Utilizando os resultados de uma pesquisa nacional de governos locais, Poudyal et al., (2011) avaliaram os aspectos de qualidade dos créditos de carbono florestal urbano. Conclui-se que os municípios e municípios dos Estados Unidos, atuando como vendedores de créditos de carbono possuem recursos e capacidade para serem

competitivos nos mercados de crédito de carbono. Além disso, eles têm capacidade e recursos para implementar projetos de carbono que atenderão aos principais critérios de qualidade (por exemplo, adicionalidade, permanência e verificação).

As difíceis questões sociais enfrentadas pelas organizações não-governamentais em relação ao planejamento, gestão e evolução dos campos de refugiados levaram à avaliação de estratégias alternativas de desenvolvimento. De fato, tecnologias inovadoras poderiam ser promovidas para melhorar a economia local de forma sustentável. Manni et al., (2018) apresentam um modelo sugerindo a exploração de materiais de alto-albedo para gerar oásis frescos em contextos de clima quente. Os benefícios derivados desta proposta foram investigados através da simulação da aplicação de dispositivos de alto albedo em abrigos em Zaatari, então as emissões de carbono evitadas foram quantificadas, e vários cenários foram discutidos. No âmbito do Sistema de Comércio de Emissões, os créditos de carbono, que podem ser obtidos e vendidos contribuindo para o processo de mitigação do aquecimento global, são estimados em cerca de 150.000 toneladas de CO<sub>2</sub>-eq. Considerando as tendências de mercado apresentadas durante a COP21 em Paris, a intervenção demonstrou ser sustentável em termos econômicos e ambientais. O período de retorno é estimado em três anos no cenário mais confiável. O trabalho apresenta os principais resultados de uma pesquisa mais ampla que também incluiu considerações sobre o planejamento urbano dos acampamentos.

*2.5 Ações sobre Emissões de Gases e Mudanças climáticas.* Sob o Protocolo de Kyoto, uma resposta governamental global às mudanças climáticas, os signatários do protocolo fazem um esforço para reduzir suas emissões de gases de efeito estufa. A Coreia do Sul não está incluída na lista de países do Anexo I; no entanto, a Coreia do Sul é o sétimo maior emissor de CO<sub>2</sub>. O governo sul-coreano promulgou várias políticas institucionais para incentivar as reduções de gases de efeito estufa. Embora estudos anteriores tenham focado na orientação que reflete a posição dos fornecedores no mercado de carbono, o estudo de Roh et al., (2014) enfoca a demanda real das empresas sul-coreanas por créditos de carbono florestal. Ao aplicar o método de avaliação contingente, estimamos a disposição das empresas domésticas em pagar pelos créditos de carbono florestal. Em seguida, aplicamos uma regressão logística ordenada por classificação para confirmar se a classificação dos créditos de carbono florestal, em comparação com qualquer outro crédito de carbono, é influenciada pelas características de uma empresa. Os resultados mostraram que as empresas coreanas estão dispostas a pagar 5.45USD / tCO<sub>2</sub> e 7.77 USD / tCO<sub>2</sub> por créditos de carbono florestal em projetos nacionais e internacionais de carbono florestal, respectivamente. Portanto, a introdução de créditos de carbono florestal no mercado de carbono da Coreia parece razoável. A análise dos rankings prioritários de créditos de carbono florestal, no entanto, demonstrou que os projetos florestais eram menos propensos a serem classificados pelas empresas como sua primeira prioridade. Embora as preferências relativas de créditos de carbono florestal tenham sido influenciadas pelas características individuais das empresas, como experiência prévia de atividades ambientais relacionadas à RSE e se a empresa estabeleceu um plano de redução de emissões, o impacto do controle de comportamento percebido, se a empresa foi incluída no gerenciamento de metas de emissões regime de créditos de carbono florestal era insignificante.

Portanto, os créditos de carbono florestal não são uma solução viável sem um forte apoio do governo ou instrumentos institucionais. Espera-se que os resultados deste estudo forneçam aos formuladores de políticas abordagens realistas para formular políticas relacionadas às mudanças climáticas.

A mudança para as opções de energia renovável e tecnologias de baixo carbono, em resposta às preocupações sobre segurança energética e mudanças climáticas, está avançando mais lentamente do que muitos gostariam. O argumento usual contra a rápida implantação de novas tecnologias são os custos impostos à economia, geralmente interpretados em termos de custos iniciais a serem suportados ou envolvendo grandes transferências de dinheiro para financiar, por exemplo, os esforços para preservar as florestas tropicais. Mathews (2008) argumenta que tal perspectiva fornece uma barreira contínua para a tomada de ação efetiva, enquanto uma perspectiva baseada na criação e uso de créditos de carbono fornece um meio de evitar o choque de mudanças industriais abruptas. Créditos de carbono concedidos para reduções de carga de carbono de boa-fé poderiam ser criados através da iniciativa privada, por exemplo, por bancos comerciais, para constituir um mercado que complementará iniciativas baseadas em regulamentação, como os sistemas nacionais de comércio de emissões. Esta não é uma ideia nova; de fato, é o modo pelo qual o capitalismo financiou todas as grandes mudanças, incluindo a Revolução Industrial, através da criação de crédito. O surgimento de uma economia global de crédito de carbono provavelmente precederá um sistema regulador global que governa a mudança climática e, sem dúvida, ajudará a estimular o surgimento de tal sistema global.

O Acordo de Paris estabelece um mecanismo que permite a uma Parte se beneficiar das reduções de emissões de gases de efeito estufa conduzidas em uma Parte anfitriã para cumprir sua contribuição determinada nacionalmente. Neste contexto, o Gavard & Kirat (2018) objetivaram melhorar a compreensão da dinâmica dos preços de compensação de carbono em comparação com as concessões regulares do mercado de carbono. Combinamos uma abordagem de cointegração com considerações de prêmio de risco para comparar a dinâmica de preços das Permissões da União Europeia (EUA) e Reduções Certificadas de Emissões (CER) na segunda fase do mercado europeu de carbono. Levando em conta as quebras identificadas na série, descobrimos que, embora os EUA e CER retornem uma dinâmica comparável principalmente impulsionada pela troca de combustível, as relações de longo prazo entre o preço desses dois tipos de permissões e seus drivers diferem significativamente. Enquanto o preço dos EUA é bem explicado por um efeito de demanda, o impacto dos preços da energia no preço do CER sugere a existência de um efeito do lado da oferta para os créditos. Verificamos que a elasticidade-preço das permissões em relação aos preços do carvão e do gás é negativa em períodos de baixa atividade econômica e positiva durante o tempo restante. Nós explicamos o primeiro com o fato de que o mercado não é apertado e o segundo com o efeito da atividade econômica sobre o preço das commodities e energia.

A taxa interna de retorno (TIR) é uma ferramenta amplamente utilizada na classificação de projetos de orçamento de capital e eventuais decisões de aceitação ou rejeição. Em seu estudo, Dhavale & Sarkis (2018) consideram uma decisão de investimento envolvendo um ativo de redução sustentável, eficiente em energia, de gases de efeito estufa (GEE)

incorporando o valor das permissões de emissão de carbono para a empresa investidora. Essas concessões criam fluxos de caixa que podem ser caracterizados por volatilidade e incerteza significativas. A metodologia desenvolvida neste documento permite que os tomadores de decisão integrem seu conhecimento dos mercados de comércio de carbono e os fluxos de caixa que resultam da venda de créditos de emissões. A nova metodologia utiliza um modelo Bayesiano para IRR que usa amostrador de Gibbs. A análise dos resultados mostra que a TIR é influenciada pela volatilidade e incerteza dos fluxos de caixa de créditos de carbono. Ignorar essas características de incerteza e simplesmente usar os valores esperados dos fluxos de caixa pode resultar em uma taxa de retorno de investimento significativamente imprecisa. Quando comparados aos cálculos IRR determinísticos, os resultados mostram que a ocorrência de fluxos de caixa muito altos e muito baixos afeta positivamente a TIR, enquanto que a maior variabilidade da distribuição de fluxo de caixa afeta negativamente a TIR do ativo redutor de GEE. Em outras palavras, fluxos de caixa grandes ou pequenos frequentes são preferidos em relação aos fluxos de caixa flutuantes. Os resultados também podem fornecer uma justificativa para a existência de um comportamento anômalo do consumidor, conhecido como gap de eficiência energética.

Dye & Yang (2015) realizaram um estudo sobre decisões de crédito e reposição de comércio sustentável com demanda vinculada a crédito sob restrições de emissão de carbono considerando questões de sustentabilidade no contexto do crédito comercial conjunto e gestão de estoques em que a demanda depende da duração do período de crédito oferecido pelo varejista aos seus clientes. Quantificamos os impactos do período de crédito e os regulamentos ambientais no modelo de inventário. Começando com algumas suposições moderadas, primeiro analisamos o modelo com a demanda generalizada e as taxas de risco de inadimplência sob a política Carbon Cap-and-Trade, e então fazemos algumas extensões ao modelo com a política de Compensação de Carbono. Analisamos ainda mais analiticamente os efeitos dos parâmetros de emissão de carbono nas estratégias de crédito e reposição comercial do varejista. Finalmente, um par de exemplos numéricos e análise de sensibilidade são dados para ilustrar as características do modelo proposto, que é seguido por observações finais.

Hua et al., (2011) investigaram como as empresas gerenciam as pedidas de carbono no gerenciamento de estoque sob o mecanismo de negociação de emissões de carbono. Obtemos a quantidade ótima de pedidos e analisamos analítica e numericamente os impactos do comércio de carbono, do preço do carbono e do limite de carbono nas decisões de pedidos, emissões de carbono e custo total. Fazemos observações interessantes a partir dos exemplos numéricos e fornecemos insights gerenciais a partir dos resultados analíticos.

Os riscos iminentes associados à mudança climática forçaram a comunidade global a conceber uma licença de poluição comercializável ou abordagens de “cap and trade” para controlar a liberação de gases de efeito estufa. Nos EUA, os solos têm o potencial de compensar cerca de 10% das emissões anuais de CO<sub>2</sub>; no entanto, se os créditos de carbono forem incluídos nos programas de controle de gases de efeito estufa, as taxas de sequestro de carbono orgânico (SOC) associadas aos usos da terra agrícola devem ser computadas em escala de bacias hidrográficas. Nesse contexto, Yadav et al., (2009) utilizaram o modelo de qualidade da água da

Ferramenta de Avaliação da Água do Solo (SWAT), o modelo de erosão do Projeto de Previsão da Erosão da Água (WEPP) e o modelo de carbono do solo CENTURY 4.0 para simular taxas de sequestro de carbono em 160 sub-bacias a bacia do Big Creek (312.300 hectares). Em cultivos anuais, somente o plantio direto em rotação milho-soja, em declives baixos a moderados, resulta em ganhos líquidos em SOC. Taxas anuais substanciais de sequestro de SOC ocorrem somente sob culturas perenes, como Reserva de Conservação (PCR; 0,14 t / ha sem erosão; 0,08 com erosão), pastagem (0,67 t / ha sem erosão; 0,58 com erosão), feno (0,88 t / ha sem erosão; 0,52 com erosão) e floresta (2,66 t / ha sem erosão; 2,49 com erosão). A erosão tem, portanto, um grande efeito sobre a distribuição espacial do SOC medido em campo, movendo-o para baixo e aumentando sua variabilidade espacial. Por isso, os programas de crédito de carbono devem basear-se em práticas de campo, visando, assim, os locais onde o sequestro de carbono atmosférico realmente ocorre e minimizando os custos de monitoramento. O desenvolvimento de estimativas baseadas em modelos de taxas de sequestro de atividades de campo em muitas localidades serviria, assim, em grande medida às necessidades dos programas de créditos de carbono.

Van Voorhees (2017) estudou o que deve ser feito para obter crédito pelas quantidades de dióxido de carbono inevitavelmente armazenadas em associação com a recuperação melhorada de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>-EOR). O estudo explora essa questão com ênfase especial em vários desenvolvimentos recentes ocorridos em dezembro de 2015 que afetarão diretamente as respostas a essa pergunta no contexto do esquema regulatório da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) para controlar as emissões de gases de efeito estufa (GEE). Em 2015, a EPA finalizou uma estrutura regulatória fundamental para o controle das emissões de GEE de unidades geradoras de energia elétrica movida a combustíveis fósseis, novas e existentes. Ao fazê-lo, a EPA condicionou o uso de CCS na quantificação de dióxido de carbono armazenado através de relatórios da subparte RR dos requisitos de relatórios da parte 98 GHG, a abordagem de relatório desenvolvida principalmente para o sequestro geológico em formações salinas. E o relatório da subparte RR seria necessário independentemente de o armazenamento de dióxido de carbono ser alcançado por meio de sequestro geológico ou em associação com a recuperação aprimorada de óleo de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>-EOR). Inúmeras preocupações foram levantadas em comentários sobre as regras propostas e em resposta às regras finais sobre a capacidade de as operações de EOR cumprirem os requisitos de relatórios da subparte RR, e de 2010 até 2015 ninguém relatou sob a subparte RR porque todos os projetos injetando o dióxido de carbono em formações salinas se qualificava para isenções de pesquisa, e nenhuma operação de EOR tinha voluntariamente optado por relatar sob a subparte RR em vez de sob subpartes W e UU.

#### *2.6 Modelos Matemáticos e Mercado de Carbono.*

Yu & Mallori (2016) examinaram o impacto das taxas de câmbio no mercado de carbono. Analisamos esse efeito através do Esquema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU-ETS), que utiliza principalmente dois insumos substituíveis de energia fóssil para a geração de eletricidade: carvão e gás natural. O mercado europeu de carvão é impulsionado diretamente pelos mercados globais de carvão que são denominados em USD, enquanto o gás natural é importado principalmente da Rússia e é denominado em Euros. As funções de resposta ao impulso de um modelo de

autorregressão vetorial estrutural (SVAR) demonstram que um choque na taxa de câmbio euro / dólar pode ser transmitido através do canal de substituição de energia entre carvão e gás natural e influência no mercado de créditos de carbono.

Feng et al., (2011) examinaram a volatilidade do preço do carbono usando dados do Esquema de Comércio de Emissões da União Europeia do ponto de vista da dinâmica não-linear. Primeiro, usamos um modelo de passeio aleatório, incluindo testes de correlação serial e taxa de variância, para determinar se as informações do histórico de preço do carbono estão totalmente refletidas no preço atual do carbono. Os resultados da pesquisa empírica mostram que o preço do carbono não é um passeio aleatório: a informação do histórico de preços não é totalmente refletida no preço atual do carbono. Segundo, use R / S, R / S modificado e ARFIMA para analisar a memória do histórico de preços de carbono. Para o período de abril de 2005 a dezembro de 2008, o índice de Hurst modificado do preço do carbono é de 0,4859 e o valor de d ARFIMA é de -0,1191, indicando a memória de curto prazo do preço do carbono. Terceiro, usamos a teoria do caos para analisar a influência do mecanismo interno do mercado de carbono no preço do carbono, ou seja, o mecanismo de feedback positivo e negativo do mercado e o ambiente heterogêneo. A teoria do caos prova que a dimensão de correlação do preço do carbono aumenta. O expoente máximo de Lyapunov é positivo e grande. Não há fenômeno endógeno complexo óbvio da dinâmica não-linear a flutuação do preço do carbono. O mercado de carbono é levemente caótico, mostrando as características do mercado e do mercado fractal. A flutuação de preços não é influenciada apenas pelo mecanismo do mercado interno, mas também é afetada pelo ambiente heterogêneo. Finalmente, oferecemos sugestões para regulamentação e desenvolvimento do mercado de carbono. Ibrahim & Kalaitzoglou (2016) investigaram por que os preços do carbono e a volatilidade dos preços mudam. Os autores propuseram um modelo de precificação microestrutural de informação assimétrica, no qual as respostas de preço à informação e liquidez variam de acordo com cada transação. As cotações bid-ask e os componentes de preço são responsáveis pela aprendizagem, incorporando as expectativas de mudança da taxa de volume transacionado (intensidade de negociação) e o nível de risco das negociações entrantes. A análise das transações futuras de carbono na Europa considera que a intensidade esperada de negociação aumenta simultaneamente o componente de informação e diminui o componente de liquidez das variações de preço, mas a taxas diferentes. Isso explica alguns resultados conflitantes na literatura anterior. Além disso, a persistência esperada na intensidade de negociação explica a maioria das autocorrelações no nível e a variação condicional da mudança de preço; ajuda a prever padrões horários nos retornos, na variação e no spread bid-ask; e diferencia o impacto do preço de compra versus venda e continuidade versus reversão de negócios.

O estudo de Chevallier (2011) constitui o primeiro exercício de modelagem não paramétrica aplicada aos mercados de carbono. O quadro de análise é cuidadosamente detalhado, e a aplicação empírica se desdobra no caso dos preços futuros da BlueNext spot e da ECX. Os dados são coletados em frequência diária de abril de 2005 a abril de 2010. Primeiro, documentamos a presença de fortes não-linearidades nas funções de médias condicionais. Segundo, as funções de volatilidade condicional revelam um comportamento assimétrico e heteroscedástico que é dramaticamente

diferente entre os retornos de carbono e os retornos futuros. Os resultados para os preços spot também são robustos à decomposição das subamostras. Terceiro, mostramos em um exercício de previsão fora da amostra que a modelagem não paramétrica permite reduzir o erro de predição em quase 15% em comparação aos modelos de AR linear. Este último resultado é confirmado pela estatística de teste par a par Diebold-Marian.

Na sequência Chevallier (2011) desenvolve um modelo de precificação de carbono considerando dois fatores fundamentais das permissões da União Europeia: atividade econômica e preços de energia. Por um lado, a actividade económica é representada pela produção industrial agregada na UE-27 (uma vez que proporciona o melhor desempenho num exercício preliminar de previsão vs. outros indicadores). Por outro lado, os preços de petróleo, gás natural e carvão são selecionados como sendo os principais vetores de preço do carbono (conforme destacado pela literatura anterior). As interações entre as esferas macroeconômica e energética são capturadas em um modelo VAR de mudança de Markov com dois estados que é capaz de reproduzir o ciclo de negócios "boom-busto" (Hamilton, 1989). Primeiro, constata-se que a produção industrial impacta positivamente (negativamente) o mercado de carbono durante períodos de expansão econômica (recessão), confirmando assim a existência de um elo entre a macroeconomia e o preço do carbono. Em segundo lugar, o preço do petróleo bruto é confirmado como líder na formação de preços entre os mercados de energia (Bachmeier e Griffin (2006)), uma vez que impacta outras variáveis através da estrutura do modelo de Markov-switching. Juntos, esses resultados revelam novas interações entre o recém-criado mercado de emissões da UE e o ambiente macroeconômico / energético pré-existente.

O objetivo do estudo de Guðbrandsdóttir & Haraldsson (2011) foi examinar o que impulsiona as mudanças no preço dos créditos de carbono no Esquema de Comércio de Emissões da União Europeia (EU ETS) e fazer previsões baseadas nessas relações. O estudo baseia-se no conjunto de dados do mercado de energia do Reino Unido (UK) e nos índices de ações globais. O grande conjunto de dados é reduzido em dimensão usando análise de correlação e as previsões são feitas por regressão linear múltipla. Unidades certificadas de redução de emissões (RCEs) mostram ser a única relação de mercado no mesmo dia que fornece previsões úteis de preços de permissões da União Europeia (EUAs). Nenhuma correlação significativa é encontrada entre EUAs e o mercado de energia do Reino Unido e o preço

teórico dos créditos de carbono; preço de comutação mostra-se um mau indicador do preço dos créditos de carbono.

O planejamento de energia com restrição de carbono (CCEP) é uma área relativamente nova de pesquisa dedicada a trabalhar com o limite de emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) regional por meio da implantação de várias tecnologias de baixo carbono. Uma dessas tecnologias é a captura e armazenamento de carbono (CCS). Ooi & Foo (2014) demonstraram o uso de um modelo de direcionamento automatizado (ATM) recentemente proposto para troca de créditos de carbono (comumente conhecido como "comércio de emissões de carbono"), que é um interesse crescente entre muitas partes que são obrigadas a compromissos de redução de emissões. Um exemplo hipotético é usado para ilustração. O estudo de Barros e Tiago Filho (2012) teve como objetivo obter estimativas preliminares sobre o potencial de créditos de carbono para projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) no panorama brasileiro, que foi dividido em duas fases. Na Fase I, foi realizada uma análise comparativa dos valores acumulados de emissão de CO<sub>2</sub> pela expansão das fontes anuais brutas de carvão e os valores acumulados de emissão de CO<sub>2</sub> da expansão da capacidade bruta anual instalada de PCH para dois cenários, Cenário 1 e Cenário 2. Os resultados demonstraram as vantagens do uso de PCH como fonte de energia, no que diz respeito às emissões de gases de efeito estufa (GEE), apesar da incerteza dos valores dos fatores de emissão de GEE. A Fase II apresenta um estudo de caso baseado em dados de uma série de tempo real para uma estação localizada no sul de Minas Gerais, com um valor arbitrário para o chefe de projeto do empreendimento. O cálculo da Potência de Permanência, Curva de Energia e valores de Potência Hidráulica Ótima Disponível (MW) e Fluxo Ótimo Disponível (m<sup>3</sup> / s) foi possível graças à planilha Microsoft®Excel® do CERPCH [11]. O cálculo do lucro líquido derivado do crédito de carbono para projetos de PCH foi feito através da planilha Microsoft®Excel® de Michellis Junior [18], com base nas diretrizes do MDL, conforme recomendado na Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas, Ministério da Ciência e Tecnologia. Os resultados mostraram que as receitas líquidas obtidas pelos créditos de carbono nos projetos de PCH localizados no Sistema Isolado ficaram bem acima daquelas obtidas no Sistema Interligado Nacional.

### 3. REVISÃO SISTEMÁTICA

Tabela 1: apresenta as principais contribuições científicas em relação ao tema:

Autor	Trabalho	Área	Contribuição	Periódico
Lintunen et al., (2016)	<i>How should a forest carbon rent policy be implemented?</i>	Florestal	Sugere uma maneira de integrar a política de aluguel de carbono em um sistema de comércio de emissões.	<i>Forest Policy &amp; Economics</i>
Gren & Aklilu (2016)	<i>Policy design for forest carbon sequestration: A review of the literature</i>	Florestal	Uma pesquisa de economia sobre o desenho de políticas para o sequestro de carbono	<i>Forest Policy &amp; Economics</i>
Vass & Ellofsson (2016)	<i>Is forest carbon sequestration at the expense of bioenergy and forest products cost-efficient in EU climate policy to 2050?</i>	Florestal	Apresenta um modelo dinâmico de minimização de custos para encontrar a combinação ideal de estratégias de redução de carbono para atingir as metas anuais de emissões entre 2010 e 2050.	<i>Journal of Forest Economics</i>



Pohjola et al., (2018)	<i>Immediate and long-run impacts of a Forest carbon policy—A market-level assessment with heterogeneous forest owners</i>	Florestal	Analisa os impactos dinâmicos no nível de mercado da implementação de uma política de carbono florestal.	<i>Journal of Forest Economics</i>
Eriksson et al., (2018)	<i>Pricing forest carbon: Implications of asymmetry in climate policy</i>	Florestal	Examina as implicações das políticas climáticas que não reconhecem totalmente o carbono florestal.	<i>Journal of Forest Economics</i>
Kim et al., (2018)	<i>Cumulative global forest carbon implications of regional bioenergy expansion policies</i>	Florestal	Análise de múltiplas fontes projetadas de crescimento da demanda de biomassa em diferentes regiões do mundo usando um modelo detalhado de otimização intertemporal do setor florestal global.	<i>Resource and Energy Economics</i>
Baker et al., (2019)	<i>Potential complementarity between forest carbon sequestration incentives and biomass energy expansion</i>	Florestal	Desenvolve um modelo conceitual simples para avaliar se as políticas de sequestro de carbono e de energia de biomassa são complementos ou substitutos de carbono.	<i>Energy Policy</i>
Buongiorno & Zhu (2013)	<i>Consequences of carbon offset payments for the global forest sector</i>	Florestal	Estuda os efeitos de longo prazo das políticas para induzir o armazenamento de carbono nas florestas foram projetados com o Modelo Global de Produtos Florestais	<i>Journal of Forest Economics</i>
Kallio et al., (2013)	<i>Sequester or substitute—Consequences of increased production of wood based energy on the carbon balance in Finland</i>	Florestal	Três modelos são usados para projetar a substituição de combustíveis fósseis e mudanças nos sumidouros de carbono florestal nos cenários até 2035.	<i>Journal of Forest Economics</i>
Vass, (2017)	<i>Renewable energies cannot compete with forest carbon sequestration to cost-efficiently meet the EU carbon target for 2050</i>	Florestal	Soluções de redução de custos são obtidas usando um modelo de otimização dinâmica que considera três tipos de opções de mitigação: energias renováveis e redução nos setores florestal e de combustíveis fósseis	<i>Renewable Energy</i>
Guo & Gong, (2017)	<i>The potential and cost of increasing forest carbon sequestration in Sweden</i>	Florestal	Examina o potencial e o custo de promover o sequestro de carbono florestal através de um imposto / subsídio aos proprietários de terra para reduzir / aumentar o armazenamento de carbono em suas florestas	<i>Journal of Forest Economics</i>
Lecocq et al., (2011)	<i>Paying for forest carbon or stimulating fuelwood demand? Insights from the French Forest Sector Model</i>	Florestal	Fornece insights sobre este debate comparando as implicações ambientais e econômicas para o setor florestal francês de uma política de “estoque” (pagamento por sequestro in situ)	<i>Journal of Forest Economics</i>
Latta et al., (2011)	<i>Simulated effects of mandatory versus voluntary participation in private forest carbon offset markets in the United States</i>	Florestal	Modificam um modelo existente de otimização intertemporal dos setores florestais e agrícolas dos EUA para permitir o envolvimento opcional de terras florestais privadas em um mercado de compensação de carbono.	<i>Journal of Forest Economics</i>
Griscom et al., (2009)	<i>Sensitivity of amounts and distribution of tropical forest carbon credits depending on baseline rules</i>	Florestal	Determina linhas de base nacionais, ou níveis de referência, para quantificar emissões reduzidas por desmatamento e degradação florestal como central para as negociações sobre um mecanismo de em uma estrutura política pós-Kyoto.	<i>Environmental Science &amp; Policy</i>
Ferbairn et al., (2010)	<i>Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO2 emissions reduction and potential for carbon credits</i>	Florestal	Apresenta um estudo sobre a substituição do cimento pela cinza do bagaço de cana-de-açúcar (SCBA) em escala industrial, com o objetivo de reduzir as emissões de CO2 na atmosfera.	<i>Journal of Environmental Management</i>
Guadalupe et al., (2018)	<i>REDD+ implementation in a high forest low deforestation area: Constraints on monitoring forest carbon emissions</i>	Florestal	Aplicam uma metodologia, que é capaz de reduzir a cobertura de nuvens usando filtros temporais nas imagens classificadas, detectando o desmatamento (e a degradação florestal) em áreas tão pequenas	<i>Land Use Policy</i>

			quanto 1ha e usando o método da árvore de decisão.	
Sinnet et al., (2016)	<i>The carbon credits and economic return of environmental plantings on a prime lamb property in south eastern Australia</i>	Florestal	Os benefícios líquidos das árvores para armazenamento de carbono em uma fazenda de cordeiros foram avaliados.	<i>Land Use Policy</i>
Bryan et al., (2014)	<i>Supply of carbon sequestration and biodiversity services from Australia's agricultural land under global change</i>	Florestal	Quantificou a oferta potencial destes serviços a partir das terras agrícolas intensivas da Austrália de 2013 a 2050 sob quatro perspectivas globais em resposta a um esquema de preço de carbono e pagamento de biodiversidade.	<i>Global Environmental Change</i>
Cairns & Lasserre (2004)	<i>Reinforcing economic incentives for carbon credits for forests</i>	Florestal	Expõe que as licenças de mercados, o uso de contabilidade verde e os mercados de seguros para emissões súbitas podem aumentar a eficiência do esquema e sua atratividade para os participantes em potencial.	<i>Forest Policy and Economics</i>
Sovacool, (2010)	<i>Building Umbrellas or Arks? Three Alternatives to Carbon Credits and Offsets</i>	Florestal	Justifica que os mercados de crédito de carbono sofrem falhas aparentemente inescapáveis que podem justificar abordagens alternativas, como impostos sobre carbono, uma completa eliminação das emissões de dióxido de carbono ou um fundo global de carbono.	<i>The Electricity Journal</i>
Fan et al., (2018)	<i>Evaluating the effect of a subsidy policy on carbon capture and storage (CCS) investment decision-making in China — A perspective based on the 45Q tax credit</i>	Créditos de Carbono	Um modelo de árvore trinomial baseado na opção real de atraso é desenvolvido para avaliar o investimento de adaptação e armazenamento de carbono para usinas de carvão a carvão existentes no contexto do crédito fiscal do 45Q.	<i>Energy Procedia</i>
Zaher et al., (2013)	<i>Life cycle assessment of the potential carbon credit from no- and reduced-tillage winter wheat-based cropping systems in Eastern Washington State</i>	Modelo Matemático	O sequestro de carbono e as emissões de óxido nitroso de sistemas de cultivo baseados em trigo de inverno foram avaliados no leste de Washington, EUA, usando simulação computacional.	<i>Agricultural Systems</i>
Peter et al., (2017)	<i>Do greenhouse gas emission calculations from energy crop cultivation reflect actual agricultural management practices? – A review of carbon footprint calculators</i>	Emissões	Analisa as calculadoras disponíveis para o cálculo das emissões de GEE resultantes do cultivo de culturas energéticas baseadas na pegada de carbono.	<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>
Knudsen et al., (2014)	<i>Carbon footprints of crops from organic and conventional arable crop rotations – using a life cycle assessment approach</i>	Emissões	Pegadas de carbono de culturas de rotação de culturas orgânicas e convencionais foram avaliadas.	<i>Journal of Cleaner Production</i>
Taylor et al., (2010)	<i>Carbon credit schemes for forest landowners are counterproductive</i>	Florestal	Afirma que as políticas de limite e troca de carbono poderiam ser contraproduzidas para o objetivo de mitigar o carbono atmosférico.	<i>Environmental Science &amp; Policy</i>
Zhou & Li (2019)	<i>Carbon finance and carbon market in China: Progress and challenges</i>	Emissões	Apresenta uma revisão sistemática do progresso da pesquisa e desenvolvimento e dos desafios do mercado de carbono e financiamento de carbono da China.	<i>Journal of Cleaner Production</i>
Kaifeng & Chuanzhe (2011)	<i>Construction of Carbon Finance System and Promotion of Environmental Finance Innovation in China</i>	Emissões	O financiamento de baixo carbono baseado nas demandas de emissões e comércio de carbono promoverá a inovação do sistema financeiro chinês.	<i>Energy Procedia</i>

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo apresenta uma revisão sistemática de trabalhos publicados em periódicos de alto impacto sobre os mecanismos de monitoramento e de regulação de emissões, de sequestro, e de créditos de carbono, abordando principalmente o setor florestal. A busca por estudos foi realizada na base de dados da ScienceDirect. Foi identificada

uma lacuna referente a estudos que apresentem ações junto ao setor privado, equipamentos e processos e mobilidades urbanas, em contrapartida, foram encontrados diversos estudos que apresentam contribuição significativa sobre emissões de gases e mudanças climáticas (pegada de carbono) e modelos matemáticos sobre o mercado de carbono, principalmente em países desenvolvidos.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo teve suporte financeiro concedido pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, Brasil, código financeiro [001].

## REFERÊNCIAS

- Agrawal, S.; Tiwari, G.N. (2015). Performance analysis in terms of carbon credit earned on annualized uniform cost of glazed hybrid photovoltaic thermal air collector. *Solar Energy* **115**, 329-340.
- Baker, J.S.; Wade, C.M.; Sohngen, B.L.; Ohrel, S.; Fawcett, A.A. (2019). Potential complementarity between forest carbon sequestration incentives and biomass energy expansion. *Energy Policy* **126**, 391-401.
- Barua, S.K.; Lintunen, J.; Uusivuori, J.; Kuuluvainen, J. (2014). On the economics of tropical deforestation: Carbon credit markets and national policies. *Forest Policy and Economics* **47**, 36-45.
- Barros, R.M.; Tiago Filho, G.L. (2012). Small hydropower and carbon credits revenue for an SHP project in national isolated and interconnected systems in Brazil. *Renewable Energy* **48**, 27-34.
- Bryan, B.A.; Nolan, M.; Connor, J.D.; Navarro-Garcia, J. et al. (2014). Supply of carbon sequestration and biodiversity services from Australia's agricultural land under global change. *Global Environmental Change* **28**, 166-181.
- Caiado, N.; Guarnieri, P.; Xavier, L.H.; Chaves, G. de L.D. (2017). A characterization of the Brazilian market of reverse logistic credits (RLC) and an analogy with the existing carbon credit market. *Resources, Conservation and Recycling* **118**, 47-59.
- Cairns, R.; Lasserre, P. Reinforcing economic incentives for carbon credits for forests. *Forest Policy and Economics* **6**, (3-4), 321-328.
- Chevallier, J. (2011). Nonparametric modeling of carbon prices. *Energy Economics* **33**, (6), 1267-1282.
- Chevallier, J. (2011). A model of carbon price interactions with macroeconomic and energy dynamics. *Energy Economics* **33**, (6), 1295-1312.
- Dhavalé, D.G.; Sarkis, J. (2018). Stochastic internal rate of return on investments in sustainable assets generating carbon credits. *Computers & Operations Research* **89**, 324-336.
- Dye, C-Y.; Yang, C-T. (2015). Sustainable trade credit and replenishment decisions with credit-linked demand under carbon emission constraints. *European Journal of Operational Research* **244**, (1), 187-200.
- European Commission. (2011). A Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050. <https://www.eea.europa.eu/policy-documents/com-2011-112-a-roadmap> (verificado em 05 de Novembro de 2019).
- Eriksson, M.; Brännlund, R.; Lundgren, T. (2018). Pricing forest carbon: Implications of asymmetry in climate policy. *Journal of Forest Economics* **32**, 84-93.
- Fairbairn, E.M.R.; Americano, B.B.; Cordeiro, G.C.; et al. (2010). Cement replacement by sugar cane bagasse ash: CO2 emissions reduction and potential for carbon credits. *Journal of Environmental Management* **91**, (9), 1864-1871.
- Fan, J-L.; Xu, M.; Wei, S-J.; et al. (2018). Evaluating the effect of a subsidy policy on carbon capture and storage (CCS) investment decision-making in China - A perspective based on the 45Q tax credit. *Energy Procedia* **154**, 22-28.
- Feng, Z-H.; Zou, L-L.; Wei, Y-M. (2011). Carbon price volatility: Evidence from EU ETS. *Applied Energy* **88**, (3), 590-598.
- Gavard, C.; Kirat, D. (2018). Flexibility in the market for international carbon credits and price dynamics difference with European allowances. *Energy Economics* **76**, 504-518.
- Green, I-M.; Aklilu, A.Z. (2016). Policy design for forest carbon sequestration: A review of the literature. *Forest Policy & Economics* **70**, 128-136.
- Griscom, B.; Shoch, D.; Stanley, B.; Cortez, R.; Virgilio, N. (2009). Sensitivity of amounts and distribution of tropical forest carbon credits depending on baseline rules. *Environmental Science & Policy* **12**, (7), 897-911.
- Guadalupe, V.; Sotta, E.D.; Santos, V.F.; Aguiar, L.J.G. et al. (2018). REDD+ implementation in a high forest low deforestation area: Constraints on monitoring forest carbon emissions. *Land Use Policy* **76**, 414-421.
- Günther, A.; Böther, S.; Couwenberg, J.; Hüttl, S.; Jurassinski, G. (2018). Profitability of Direct Greenhouse Gas Measurements in Carbon Credit Schemes of Peatland Rewetting. *Ecological Economics* **146**, 766-771.
- Guðbrandsdóttir, H.N., Haraldsson, H.Ó. (2011). Predicting the Price of EU ETS Carbon Credits. *Systems Engineering Procedia* **1**, 481-489.
- Guo, J.; Gong, P. (2017). The potential and cost of increasing forest carbon sequestration in Sweden. *Journal of Forest Economics* **29**, (part B), 78-86.
- Håbesland, D.E.; Kilgore, M.A.; Becker, D.R. et al. (2016). Norwegian family forest owners' willingness to participate in carbon offset programs. *Forest Policy & Economics* **70**, 30-38.
- Hu, K.; & Chen, Y. (2019). Equilibrium fuel supply and carbon credit pricing under market competition and environmental regulations: A California case study. *Applied Energy* **236**, 815-824.
- Hua, G.; Cheng, T.C.E.; Wang, S. (2011). Managing carbon footprints in inventory management. *International Journal of Production Economics* **132**, (2), 178-185.
- Ibrahim, B.M.; & Kalaitzoglou, I.A. (2016). Why do carbon prices and price volatility change? *Journal of Banking & Finance* **63**, 76-94.
- Juutinen, A.; Ahtikoski, A.; Lehtonen, M.; Mäkipää, R.; Ollikainen, M. (2019). The impact of a short-term carbon payment scheme on forest management. *Forest Policy & Economics* **90**, 115-127.
- Kaifeng, L.; & Chuanzhe, L. (2011). Construction of Carbon Finance System and Promotion of Environmental Finance Innovation in China. *Energy Procedia* **5**, 1065-1072.
- Kallio, A.M.I.; Salminen, O.; Sievänen, R. (2013). Sequester or substitute—Consequences of increased production of wood based energy on the carbon balance in Finland. *Journal of Forest Economics* **19**, (4), 402-415.
- Knudsen, M.T.; Meyer-Audrich, A.; Olesen, J.E.; Chirinda, N.; Hermansen, J.E. (2014). Carbon footprints of crops from organic and conventional arable crop rotations – using a life cycle assessment approach. *Journal of Cleaner Production* **64**, 609-618.
- Kim, S.J.; Baker, J.S.; Sohngen, B.L.; Shell, M. (2018). Cumulative global forest carbon implications of regional bioenergy expansion policies. *Resource and Energy Economics* **53**, 198-219.
- Kumar, S. (2013). Thermal-economic analysis of a hybrid photovoltaic thermal (PVT) active solar distillation system: Role of carbon credit. *Urban Climate* **5**, 112-124.

- Latta, G.; Adams, D.M.; Alig, R.J.; White, E. (2011). Simulated effects of mandatory versus voluntary participation in private forest carbon offset markets in the United States. *Journal of Forest Economics* **17**, (2), 127-141.
- Lecoqc, F.; Caurla, S.; Delacote, P.; Barkaoui, A.; Sauquet, A. (2011). Paying for forest carbon or stimulating fuelwood demand? Insights from the French Forest Sector Model. *Journal of Forest Economics* **17**, (2), 157-168.
- Li, Y.; Ukkusuri, S.V.; Jin, F. (2018). Managing congestion and emissions in transportation networks with dynamic carbon credit charge scheme. *Computers & Operations Research* **99**, 90-108.
- Lintunen, J.; Laturi, J.; Uusivuori, J. (2016). How should a forest carbon rent policy be implemented? *Forest Policy & Economics* **69**, 31-39.
- Man, C.D.; Lyons, K.C.; Nelson, J.D.; Bull, G.Q. (2015). Cost to produce Carbon credits by reducing the harvest level in British Columbia, Canada. *Forest Policy & Economics* **52**, 9-17.
- Manni, M.; Regnacci, F.; Filippucci, M.; et. al. (2018). Refugee camps as an opportunity for promoting alternative development strategies based on carbon credits. *Energy Procedia* **148**, 281-288.
- Mathews, J.A. (2008). How carbon credits could drive the emergence of renewable energies. *Energy Policy* **36**, (10), 3633-3639.
- Miller, K.A.; Snyder, S.A.; Kilgore, M.A. (2012). An assessment of forest landowner interest in selling forest carbon credits in the Lake States, USA. *Forest Policy & Economics* **25**, 113-122.
- Ooi, R.E.H.; Foo, D.C.Y. (2014). Carbon Constrained Energy Planning (CCEP) with Carbon Capture and Storage Incorporating Carbon Credit Exchange. *Computer Aided Chemical Engineering* **34**, 585-590.
- Peter, C.; Helming, K.; Nendel, C. (2017). Do greenhouse gas emission calculations from energy crop cultivation reflect actual agricultural management practices? – A review of carbon footprint calculators. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* **67**, 461-476.
- Pohjola, J.; Laturi, J.; Lintunen, J.; Uusivuori, J. (2018). Immediate and long-run impacts of a forest carbon policy— A market-level assessment with heterogeneous forest owners. *Journal of Forest Economics* **32**, 94-105.
- Poudyal, N.C.; Siry, J.P.; Bowker, J.M. (2011). Quality of urban forest carbon credits. *Urban Forestry & Urban Greening* **10**(3), 223-230.
- Rajoria, C.S.; Agrawal, S.; Dash, A.K.; et. al. (2016). A newer approach on cash flow diagram to investigate the effect of energy payback time and earned carbon credits on life cycle cost of different photovoltaic thermal array systems. *Solar Energy* **124**, 254-267.
- Roh, T-W.; Koo, J-C.; Cho, D-S.; Youn, Y-C. (2014). Contingent feasibility for forest carbon credit: Evidence from South Korean firms. *Journal of Environmental Management* **144**, 297-303.
- Senadheera, D.K.L.; Wahala, W.M.P.S.B.; Weragoda, S. (2019). Livelihood and ecosystem benefits of carbon credits through rainforests: A case study of Hiniduma Bio-link, Sri Lanka. *Ecosystem Services* **37**, 100933.
- Sinnett, A.; Behrendt, R.; Ho, C.; Malcolm, B. (2016). The carbon credits and economic return of environmental plantings on a prime lamb property in south eastern Australia. *Land Use Policy* **52**, 374-381.
- Sovacool, B.K. (2010). Building Umbrellas or Arks? Three Alternatives to Carbon Credits and Offsets. *The Electricity Journal* **23**, (2), 29-40.
- Show, K.Y.; & Lee, D.J. (2008). Carbon credit and emission trading: Anaerobic wastewater treatment. *Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers* **39**, (6), 557-562.
- Taylor, A.; Lippke, B.; Park, W. (2010). Carbon credit schemes for forest landowners are counterproductive. *Environmental Science & Policy* **13**, (2), 150-153.
- Van Voorhees, R.F. Crediting Carbon Dioxide Storage Associated with Enhanced Oil Recovery. *Energy Procedia* **114**: 7659-7666, 2017.
- Vass, M.M.; & Elofsson, K. (2016). Is forest carbon sequestration at the expense of bioenergy and forest products cost-efficient in EU climate policy to 2050? *Journal of Forest Economics* **24**, 82-105.
- Vass, M.M. (2017). Renewable energies cannot compete with forest carbon sequestration to cost-efficiently meet the EU carbon target for 2050. *Renewable Energy* **107**, 164-180.
- Wong, B-T.; Show, K-Y.; Lee, D.J.; Lai, J-Y. (2009). Carbon balance of anaerobic granulation process: Carbon credit. *Bioresour Technol* **100**, (5), 1734-1739.
- Yadav, V.; Malanson, G.P.; Bekele, E.; Lant, C. (2009). Modeling watershed-scale sequestration of soil organic carbon for carbon credit programs. *Applied Geography* **29**, (4), 488-500.
- Zaher, U.; Stöckle, C.; Painter, K.; Higgins, S. (2013). Life cycle assessment of the potential carbon credit from no- and reduced-tillage winter wheat-based cropping systems in Eastern Washington State. *Agricultural Systems* **122**, 73-78.
- Zhang, X.; & Li, J. (2018). Credit and market risks measurement in carbon financing for Chinese banks. *Energy Economics* **76**, 549-557.
- Zhou, K.; & Li, Y. (2019). Carbon finance and carbon market in China: Progress and challenges. *Journal of Cleaner Production* **214**, 536-549.