



MATHEUS BOCATTE KLEN

**FIXAÇÃO DE CARBONO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE
VIDEIRAS: ANÁLISE DE REVISÃO**

**LAVRAS-MG
2023**

MATHEUS BOCATTE KLEN

**FIXAÇÃO DE CARBONO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE VIDEIRAS:
ANÁLISE DE REVISÃO**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso Engenharia Ambiental e Sanitária, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Prof. Dr. Pedro Maranha Peche
Orientador

**LAVRAS-MG
2023**

MATHEUS BOCATTE KLEN

**FIXAÇÃO DE CARBONO EM SISTEMA DE PRODUÇÃO DE VIDEIRAS:
ANÁLISE DE REVISÃO**

**CARBON FIXATION IN A GRAPEVINE PRODUCTION SYSTEM: REVIEW
ANALYSIS**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso Engenharia Ambiental e Sanitária, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

APROVADO em 01/12/2023

Dr. Pedro Maranhã Peche

MSc. Carlos Henrique Milagres Ribeiro

MSc. Máira Ferreira De Melo Rossi

Prof. Dr. Pedro Maranhã Peche

Orientador

**LAVRAS-MG
2023**

*À minha família que sempre
me apoiou em todos os momentos.*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família por seu constante estímulo e dedicação aos meus estudos. Eles sempre estiveram presentes para orientar e respaldar todas as escolhas que fiz ao longo do meu percurso acadêmico.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), e a todos os professores, funcionários, servidores e colegas que tive a experiência de trocar conhecimento e que me ajudou no meu amadurecimento ao longo da graduação.

OBRIGADO A TODOS!

RESUMO

Com a crescente preocupação global com as emissões de gases de efeito estufa (GEE), estratégias eficazes são implementadas para mitigar os impactos ambientais. Uma abordagem promissora é o sequestro de carbono, que envolve a captura e armazenamento de dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera. Este artigo apresenta uma revisão bibliográfica abrangente sobre a fixação de carbono em sistemas de produção de videiras. A análise explora a influência da fotossíntese, a alocação de carbono nas diferentes partes da planta e práticas agrícolas sustentáveis para otimizar a eficiência da fixação de carbono nas vinhas. O objetivo é fornecer uma visão aprofundada da dinâmica desse processo fundamental, destacando seu impacto na qualidade da uva, na sustentabilidade agrícola e na mitigação das mudanças climáticas. Através de pesquisas de livros, artigos e publicações científicas, constatou-se que a captura de carbono nos processos de produção de vinho não apenas ajuda a diminuir as emissões de gases do efeito estufa, mas também aumenta a capacidade do setor de enfrentar desafios ambientais.

Palavras-chave: sustentabilidade, viticultura, crédito de carbono, mitigação.

ABSTRACT

With the growing global concern about greenhouse gas emissions (GHG), effective strategies are being implemented to mitigate environmental impacts. A promising approach is carbon sequestration, which involves the capture and storage of carbon dioxide (CO₂) from the atmosphere. This article presents a comprehensive literature review on carbon fixation in vineyard production systems. The analysis explores the influence of photosynthesis, carbon allocation in different parts of the plant, and sustainable agricultural practices to optimize carbon fixation efficiency in vineyards. The goal is to provide an in-depth understanding of the dynamics of this fundamental process, highlighting its impact on grape quality, agricultural sustainability, and climate change mitigation. Through research in books, articles, and scientific publications, it was found that carbon capture in wine production processes not only helps reduce greenhouse gas emissions but also enhances the sector's ability to address environmental challenges.

Keywords: sustainability, viticulture, carbon credit, mitigation.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	METODOLOGIA	9
3.	MERCADO DE CARBONO	10
4.	CICLO DO CARBONO.....	13
4.1.	CICLO DO CARBONO NA VITICULTURA	14
5.	CRÉDITO DE CARBONO NA VITICULTURA	14
6.	INFLUÊNCIA DE PRÁTICAS AGRÍCOLAS NO ESTOQUE DE CARBONO.....	16
7.	ESTOQUE DE CARBONO EM VINHEDOS JOVENS E VINHEDOS ANTIGOS	17
8.	METODOLOGIAS DE MEDIÇÃO	18
9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	20
	REFERÊNCIAS	21

1. INTRODUÇÃO

Com a chegada da Revolução Industrial no século XVIII, houve um aumento constante na liberação de gases como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Esses gases, conhecidos como gases do efeito estufa (GEEs), têm a capacidade de reter uma quantidade significativa de energia térmica, causando alterações na temperatura atmosférica global. O crescimento da população, as mudanças no uso da terra e, principalmente, a queima de combustíveis fósseis são fatores humanos que têm contribuído para o aumento da concentração global de GEEs nos últimos 200 anos (IPCC, 2014).

As principais fontes de emissão de gases de efeito estufa derivam do uso de combustíveis fósseis, desmatamento, queima de materiais vegetais e práticas inadequadas de manejo do solo (FALKOWSKI, P. et al., 2000). A comunidade científica tem se dedicado à avaliação e discussão intensiva dessas emissões, especialmente no contexto dos sistemas agrícolas e das práticas de manejo do solo.

Uma abordagem viável para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEEs) é ampliar a prática de sequestro de carbono. Essa técnica refere-se a qualquer método que armazene carbono por um período prolongado, o suficiente para diminuir as emissões de carbono na atmosfera e, assim, atenuar o aquecimento global. O termo "mitigação" é frequentemente utilizado para descrever esse processo, sendo uma alternativa para a redução do dióxido de carbono atmosférico. Isso envolve o sequestro de carbono através do aumento do teor de carbono orgânico no solo (LAL, 2004; FELLER & BERNOUX, 2008).

Diante do exposto, a presente revisão de literatura tem como objetivo realizar um estudo bibliográfico, em bases científicas nacionais e internacionais, a respeito do ciclo do carbono, mercado de carbono, crédito de carbono na viticultura e a influência de práticas agrícolas no estoque de carbono em vinhedos jovens e antigos, como também as metodologias de medição (PEREIRA et al., 2018).

2. METODOLOGIA

Para a busca de dados com relação a literatura, foi através de uma pesquisa eletrônica nas bases de dados *Web of Science*, *Science Direct*, *Google Scholar* e *SciELO*, e dados e/ou informações de livros e publicações científicas disponíveis na *web*, que estivessem no período de 1957 a 2021. Sendo excluídas bibliografias que não atendiam ao objetivo do estudo.

3. MERCADO DE CARBONO

O mercado de carbono é um sistema que possibilita a compra e venda de créditos de carbono, que são unidades padronizadas usadas para mensurar e compensar as emissões de gases de efeito estufa (GEE), por empresas e governos, representando a redução das emissões de gases de efeito estufa. Empresas que conseguem diminuir suas emissões abaixo de um limite estabelecido podem vender esses créditos para outras empresas que excedem esse limite, criando um incentivo financeiro para a redução global de emissões (BROHE. et al., 2009). Essas emissões são medidas em toneladas equivalentes de dióxido de carbono (CO₂).

Segundo o relatório do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) de 2021, o mercado de carbono é uma ferramenta valiosa para facilitar a redução de emissões em setores difíceis de abater, contribuindo assim para alcançar metas mais ambiciosas de mitigação climática

As empresas podem colher diversos benefícios por meio do mercado de carbono. Primeiramente, geram receita ao vender os créditos resultantes de projetos de redução de emissões. Além disso, aquelas que conseguem diminuir suas emissões podem melhorar sua reputação pública, atraindo clientes que valorizam a sustentabilidade. Por fim, as empresas que se adequam às regulamentações ambientais e reduzem suas emissões podem evitar multas e penalidades.

É essencial entender a complexidade do mercado de carbono, exigindo que as empresas compreendam as regulamentações locais e internacionais, além de adotar práticas recomendadas para a geração de créditos de carbono.

No mercado de carbono, empresas e organizações podem comprar créditos de carbono para compensar suas próprias emissões. as empresas podem calcular sua própria pegada de carbono e buscar maneiras de reduzi-la. Caso não seja possível eliminar todas as emissões, elas compram créditos de carbono gerados por projetos que capturam ou evitam a liberação desses gases na atmosfera (BROHE. et al., 2009). Isso é feito investindo em projetos que reduzem ou removem as emissões de GEE, como a implementação de tecnologias mais eficientes, o uso de energias renováveis, o reflorestamento ou captura e armazenamento de carbono (BUCHNER et al., 2019).

Esses créditos são criados a partir da implementação de práticas sustentáveis em setores como energia renovável, reflorestamento, eficiência energética, entre outros. Ao adquirir esses créditos, as empresas conseguem compensar suas próprias emissões e se tornarem neutras em carbono.

É importante ressaltar que os créditos de carbono não devem ser vistos como uma solução definitiva para o problema das mudanças climáticas. É apenas uma ferramenta complementar para auxiliar na transição para uma economia com baixas emissões de carbono.

A ideia por trás do mercado de pegada de carbono incentivar a redução das emissões por meio da precificação do carbono. Ao atribuir um valor econômico às emissões, espera-se que as empresas sejam incentivadas a adotar práticas mais sustentáveis e a buscar formas alternativas e menos poluentes para operar.

Esse mercado tem crescido nos últimos anos, impulsionado pelo aumento da conscientização sobre mudanças climáticas e pela necessidade urgente de reduzir as emissões globais. Além disso, muitos países têm implementado políticas e regulamentações relacionadas mitigação das mudanças climáticas, o que também tem impulsionado o crescimento desse mercado (ELLERMAN & BUCHNER, 2007).

Existem diferentes tipos de mercados de pegada de carbono ao redor do mundo. Alguns países possuem seus próprios sistemas nacionais, enquanto outros participam do Mercado Voluntário. No Mercado Voluntário, empresas e indivíduos podem comprar créditos para compensar suas emissões, mesmo que não sejam obrigados a fazê-lo por regulamentares governamentais (MURRAY, 2015).

No entanto, importante ressaltar que o mercado de pegada de carbono também possui críticas e desafios. Alguns argumentam que ele pode permitir que empresas continuem poluindo, desde que compensem suas emissões comprando créditos. Além disso, há preocupações sobre a qualidade dos projetos de compensação e a possibilidade de *greenwashing*, onde empresas apenas buscam melhorar sua imagem sem efetivamente reduzir suas próprias emissões (BUCHNER et al., 2019).

O mecanismo utilizado para é incentivar a redução das emissões de GEE por meio do comércio de créditos, tem sido uma ferramenta importante no combate às mudanças climáticas, mas também enfrenta críticas em relação sua eficácia e integridade (BROHE. et al. 2009). O mercado de pegada de carbono um sistema que busca mensurar e quantificar as emissões de gases do efeito estufa (GEE) provenientes das atividades humanas. Permite a compra, venda e compensação dessas emissões por meio de certificados de redução ou remoção de carbono.

Além disso, o mercado de pegada de carbono também pode incentivar a inovação tecnológica e o desenvolvimento sustentável ao criar demanda por soluções mais limpas e menos poluentes (BUCHNER et al., 2019). Isso estimula o surgimento de novas empresas e projetos voltados para a redução das emissões.

No mercado de pegada de carbono, as empresas que conseguem reduzir suas emissões abaixo do limite estabelecido podem vender os créditos excedentes para outras que não conseguiram atingir suas metas. Isso cria incentivos para a adoção de práticas mais sustentáveis e ajuda a impulsionar a transferência para uma economia com baixo teor de carbono (GRAICHEN et al., 2018).

Basicamente, o mercado de pegada de carbono desempenha um papel fundamental na luta contra as mudanças climáticas, ao fornecer incentivos econômicos para a redução das emissões. Esses créditos representam uma quantia específica de redução ou remoção de dióxido de carbono equivalente (CO₂) das atividades humanas (BROHE. et al. 2009).

Essa prática auxilia no cumprimento das metas estabelecidas no Acordo de Paris sobre mudanças climáticas, pois incentiva a redução das emissões em todo o mundo. Além disso, também pode ser uma oportunidade financeira para empresas que possuem excedentes de créditos de carbono, podendo vendê-los no mercado.

O mercado de pegada de carbono funciona através da criação e certificação dos créditos por organizações reguladoras. Esses créditos são verificados e auditados para garantir sua validade e transparência. Com isso, possível rastrear a origem e a quantidade exata das reduções ou remoções de CO₂ que foram realizadas. Ele funciona como uma forma de precificar o carbono, incentivando a redução das emissões por meio de mecanismos econômicos.

Ao adquirir créditos de carbono, as empresas podem compensar suas próprias emissões excedentes, tornando-se neutras em termos de emissões líquidas. Isso permite que elas cumpram metas ambientais e regulatórias, ao mesmo tempo em que contribuem para a mitigação das mudanças climáticas.

Além disso, o mercado também impulsiona a inovação tecnológica e o desenvolvimento sustentável. Ao colocar um preço no carbono, incentiva-se a adoção de práticas mais limpas e eficientes, estimulando o surgimento de novas soluções ecológicas.

É importante ressaltar que o mercado de pegada de carbono enfrenta desafios significativos em relação preciso na medição das emissões, padronização dos métodos utilizados e transparência nas transações. A falta de uma estrutura regulatória global também pode dificultar a integridade e eficácia desse mercado.

Apesar das limitações, o mercado de pegada de carbono desempenha um papel importante na luta contra as mudanças climáticas. Ao criar incentivos econômicos para a redução das emissões, ele contribui para uma economia de baixo carbono e promove a sustentabilidade ambiental.

4. CICLO DO CARBONO

O ciclo do carbono representa um fenômeno natural que implica na constante troca de carbono entre a atmosfera, a biosfera, a hidrosfera e a litosfera. O carbono se encontra armazenado em distintos reservatórios, como o solo, vegetação, oceanos e atmosfera, sendo liberado por meio de processos naturais como a respiração de plantas e animais, decomposição de matéria orgânica e atividade vulcânica (FALKOWSKI, P. et al., 2000). As atividades humanas, tais como a queima de combustíveis fósseis e o desmatamento, têm ocasionado um aumento significativo nas emissões de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, contribuindo assim para o aquecimento global e as mudanças climáticas.

O carbono (C) e o nitrogênio (N) são os principais componentes da matéria orgânica do solo (MOS), e a quantidade deles no solo varia devido às taxas de adição, como resíduos vegetais e animais, e perda, incluindo erosão e oxidação causadas por microrganismos do solo. Nos sistemas agrícolas, o manejo adotado também exerce influência nos estoques de carbono orgânico (CO) e nitrogênio total no solo (TAIZ; ZEIGER, 2006).

A quantidade de carbono armazenada no solo também varia conforme a categoria de uso da terra. Observa-se uma concentração mais alta de carbono nos solos das florestas em comparação com os solos utilizados para cultivo (TAN & LAL, 2005). Além disso, sistemas de manejo que introduzem composto orgânico de origem animal e/ou vegetal no solo tendem a aumentar o estoque de carbono no solo (DE SOUZA et al., 2012). Da mesma forma, em sistemas de plantio direto, onde há uma menor frequência de operações de cultivo, a matéria orgânica no solo é favorecida devido a uma taxa de decomposição mais baixa (GREEN et al., 2007).

O sequestro de carbono é uma estratégia eficaz no combate às mudanças climáticas, pois envolve a retirada do dióxido de carbono (CO₂) da atmosfera e seu armazenamento em reservatórios, sejam eles naturais ou artificiais, por um período prolongado. Essa abordagem contribui para a redução da quantidade de CO₂ na atmosfera, resultando na diminuição do efeito estufa. Diversas técnicas são empregadas para realizar esse processo, incluindo o plantio de árvores, a adoção de práticas agrícolas sustentáveis e a captura e armazenamento de carbono em reservatórios geológicos (VIEIRA, L., et al., 2009).

4.1 CICLO DO CARBONO NA VITICULTURA

As plantas perenes, como as vinhas, têm a capacidade de absorver e armazenar carbono ao longo de vários anos, contribuindo para a redução das emissões de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera. Além disso, a utilização de plantas de cobertura, que são culturas temporárias plantadas entre as fileiras de uvas, também desempenha um papel importante na fixação de carbono, ajudando a melhorar a qualidade do solo e a reduzir a erosão.

O ciclo do carbono em videiras é um processo dinâmico que envolve a absorção, assimilação e liberação de carbono em diversas formas, desempenhando um papel essencial no crescimento das plantas e na qualidade da produção de uvas. A compreensão desse ciclo é fundamental para implementar práticas vitícolas sustentáveis e promover a gestão eficiente do carbono nos vinhedos.

A absorção de carbono pelas videiras ocorre predominantemente por meio do processo de fotossíntese. Durante a fotossíntese, as plantas utilizam a energia solar para converter dióxido de carbono (CO₂) e água em carboidratos, liberando oxigênio como subproduto. Essa assimilação de carbono é crucial para o crescimento vegetativo e a produção de frutos.

As videiras também armazenam carbono nas diferentes partes da planta, incluindo troncos, ramos, folhas e raízes. O carbono armazenado nessas estruturas contribui para o desenvolvimento e a sobrevivência da planta (SMITH, et al., 2014).

No entanto, o ciclo do carbono em videiras não se limita apenas à absorção e armazenamento. A decomposição de resíduos orgânicos, como folhas caídas e restos de poda, também desempenha um papel significativo na liberação de carbono no solo (GUZMÁN et al., 2017).

Em conclusão, o ciclo do carbono em videiras é um fenômeno complexo que influencia diretamente o crescimento, a produção e a sustentabilidade dos vinhedos. A integração de práticas sustentáveis, aliada ao conhecimento detalhado desse ciclo, é crucial para garantir não apenas a qualidade da produção de vinho, mas também a conservação do meio ambiente em que as videiras estão inseridas.

5. CRÉDITO DE CARBONO NA VITICULTURA

A produção de vinhos no Brasil tem ganhado destaque nos últimos anos, despertando o interesse de produtores. Além disso, a utilização de plantas perenes e de cobertura desempenha um papel fundamental na fixação de carbono e na sustentabilidade desse sistema de produção.

Um sistema vitícola requer a utilização de recursos preciosos, como água, fertilizantes e outros insumos orgânicos. Para garantir uma gestão mais sustentável desses recursos, é crucial adotar práticas agrícolas sustentáveis. Isso inclui a implementação de técnicas como a irrigação por gotejamento, o emprego de fertilizantes orgânicos e a prática de rotação de culturas. Além disso, é essencial estabelecer sistemas eficazes de tratamento de águas residuais e resíduos orgânicos, a fim de prevenir a contaminação das áreas de produção (MAICAS, S. M.; MATEO, J. J. 2020).

O estoque de carbono em videiras é importante para o ciclo do carbono e para a saúde das plantas e do solo. O carbono é armazenado nas partes acima do solo, como troncos e ramos, bem como nas raízes subterrâneas. Esse estoque de carbono contribui para o crescimento saudável das videiras e ajuda a mitigar as emissões de dióxido de carbono na atmosfera, ajudando a combater as mudanças climáticas.

A relevância do carbono na viticultura e seu impacto na produção de vinho são fundamentais para compreender a interação complexa entre as videiras, o ambiente em que crescem e a qualidade final do vinho produzido (SMITH, et al., 2014). O carbono, como elemento central nos processos biológicos, desempenha múltiplos papéis ao longo do ciclo de vida da videira e na elaboração do vinho.

A disponibilidade de carbono afeta diretamente a qualidade das uvas. Desde o tamanho e uniformidade dos cachos até a concentração de açúcares e compostos fenólicos, o aporte de carbono desempenha um papel crítico na determinação das características sensoriais das uvas. A composição química única de cada uva, influenciada pelo carbono disponível, contribui significativamente para a diversidade de vinhos.

A dinâmica do carbono na videira é importante para entender o seu impacto na pegada de carbono de uma região vinícola e na produção sustentável de vinhos.

A pegada de carbono em videiras (plantas perenes) refere-se à quantidade de gases do efeito estufa emitidos ao longo do ciclo de vida das videiras, desde o seu plantio até a produção final do vinho. A avaliação da pegada de carbono nessas culturas é importante para entender e reduzir o impacto ambiental associado à produção vitivinícola.

A captura de carbono em sistemas de produção de vinhedos pode acarretar benefícios significativos para a produção alimentar, a economia e o meio ambiente. Esse processo de captura de carbono tem o potencial de atenuar o aumento de dióxido de carbono na atmosfera, proporcionando impactos positivos tanto na saúde do ecossistema quanto na produção de alimentos (SMITH, et al., 2014). Além disso, ao promover a captura de carbono, é possível

aprimorar a qualidade do solo e a capacidade de retenção de água, gerando efeitos positivos na produtividade das plantas e na economia regional.

Além disso, as práticas de gestão dos resíduos orgânicos gerados durante o processo de vinificação também podem ter um impacto significativo na pegada de carbono. A decomposição desses resíduos pode liberar metano, um gás com alto potencial de aquecimento global.

A gestão adequada dos resíduos orgânicos pode ser uma estratégia eficaz para minimizar as emissões de metano. O uso de técnicas de compostagem ou digestão anaeróbica pode transformar esses resíduos em recursos úteis, como fertilizantes naturais ou biogás.

A avaliação e redução da pegada de carbono em videiras são importantes para mitigar o impacto ambiental da produção vitivinícola. A adoção de práticas agrícolas sustentáveis e a gestão adequada dos resíduos podem contribuir para reduzir as emissões de gases do efeito estufa ao longo do ciclo produtivo das videiras. Essas emissões podem ocorrer em várias etapas, como a produção dos materiais utilizados na plantação, o transporte e uso de insumos agrícolas, as práticas culturais adotadas, a colheita e o processamento das uvas, além do transporte e armazenamento dos produtos finais.

Da mesma forma, investir em energias renováveis para alimentar as operações agrícolas e utilizar métodos mais eficientes na colheita e processamento das uvas também pode ajudar a reduzir as emissões associadas às etapas posteriores do ciclo produtivo.

Para calcular a pegada de carbono em videiras, é necessário considerar fatores como o consumo energético no manejo da propriedade vitivinícola, a utilização de fertilizantes e pesticidas, os impactos causados pela maquinaria agrícola, o tratamento dos resíduos gerados durante o processo produtivo e até mesmo as emissões resultantes do transporte dos produtos.

6. INFLUÊNCIA DE PRÁTICAS AGRÍCOLAS NO ESTOQUE DE CARBONO

Existem diferentes estratégias que podem ser adotadas para reduzir a pegada de carbono em videiras. Algumas delas incluem a adoção de práticas agrícolas sustentáveis, como o uso eficiente de recursos hídricos e energia, como painéis solares ou biomassa, melhorias no manejo do solo para aumentar seu sequestro natural de carbono e minimizar as emissões, a promoção da biodiversidade nas áreas circundantes às vinhas e a minimização do uso de pesticidas químicos. Também investir em tecnologias mais eficientes para o manejo da propriedade pode ajudar na redução das emissões.

A gestão da irrigação é uma consideração vital nos vinhedos. Práticas de irrigação sustentáveis, como o gotejamento eficiente, não apenas otimizam o uso da água, mas também impactam positivamente o sequestro de carbono no solo dos vinhedos (ZERI, et al. 2017).

Além disso, a adoção de técnicas de agricultura regenerativa pode ajudar na redução da pegada de carbono das videiras. Essas técnicas incluem a utilização de cobertura vegetal para melhorar a saúde do solo, aumentar a biodiversidade local e capturar mais carbono atmosférico (GOGLIO, et al. 2019).

Outra maneira eficaz de reduzir a pegada de carbono é investir em sistemas solares fotovoltaicos para gerar eletricidade renovável nos vinhedos (BAI, et al., 2018). A geração de eletricidade a partir da luz solar não emite gases de efeito estufa durante a operação, resultando em uma significativa redução nas emissões de carbono associadas à produção de energia nos vinhedos. Isso diminui significativamente a dependência de combustíveis fósseis e contribui para uma produção mais sustentável.

7. ESTOQUE DE CARBONO EM VINHEDOS JOVENS E VINHEDOS ANTIGOS

É importante ressaltar que cada vinícola possui suas próprias características e condições ambientais específicas. Portanto, é essencial avaliar individualmente as melhores práticas para reduzir a pegada de carbono em cada contexto vitivinícola.

Além disso, estudos como o de Ren, et al. (2019), destacam que a idade das vinhas pode influenciar não apenas o estoque de carbono, mas também processos biológicos no solo, como a atividade microbiana e a respiração do solo.

A análise comparativa do estoque de carbono em vinhas jovens em comparação a vinhas antigas oferece uma perspectiva valiosa para entender a dinâmica do carbono ao longo do tempo nos vinhedos (REN, et al., 2019). Essa comparação não apenas fornece *insights* sobre a resposta das videiras ao envelhecimento, mas também tem implicações cruciais para a sustentabilidade a longo prazo dos vinhedos.

Vinhas jovens são caracterizadas por um menor número de anos de cultivo, menor densidade de plantação e menor desenvolvimento do sistema radicular (SMITH, et al. 2019). A biomassa das vinhas jovens geralmente apresenta valores mais baixos devido ao tamanho menor das plantas e à necessidade de tempo para o acúmulo de carbono.

Vinhas antigas, com um maior número de anos de cultivo, geralmente apresentam um sistema radicular mais desenvolvido, uma maior densidade de plantação e uma complexidade estrutural superior. As vinhas antigas tendem a ter um estoque de carbono mais substancial

devido à maior biomassa, raízes mais extensas e uma maior contribuição de matéria orgânica ao solo ao longo do tempo (SMITH, et al. 2019). Com sua estrutura mais complexa, proporcionam habitats mais diversos para organismos benéficos, promovendo a biodiversidade no vinhedo. Isso pode aumentar a resiliência das vinhas a doenças e pragas, contribuindo para a sustentabilidade a longo prazo.

O estoque de carbono no solo é crucial para a saúde geral do solo. Vinhas antigas, ao longo dos anos, contribuem para um estoque de carbono mais estável e substancial, melhorando a estrutura do solo, a retenção de água e a capacidade de sustentar a vida microbiana (DELGADO-BAQUERIZO et al. 2017).

O estoque de carbono nas videiras impacta diretamente a qualidade da uva e, conseqüentemente, a qualidade do vinho. Vinhas antigas, com uma biomassa mais significativa, podem produzir uvas mais complexas e vinhos distintos, influenciando positivamente a reputação da vinícola.

Investir em vinhas antigas pode trazer benefícios econômicos a longo prazo. Embora o custo inicial de plantar vinhas antigas seja mais alto, a qualidade e a autenticidade dos vinhos podem levar a uma demanda sustentada e à construção de uma reputação duradoura.

A análise comparativa do estoque de carbono em vinhas jovens em relação às vinhas antigas revela uma narrativa complexa sobre o papel do envelhecimento nas práticas vitivinícolas. A promoção de vinhas antigas não apenas contribui para uma gestão mais sustentável do carbono, mas também oferece uma série de benefícios que vão além da produção de uvas e vinhos. Ao considerar o equilíbrio entre a juventude e a maturidade das vinhas, os viticultores podem tomar decisões informadas que promovem a sustentabilidade a longo prazo dos vinhedos, respeitando tanto os aspectos econômicos quanto os ambientais.

8. METODOLOGIAS DE MEDIÇÃO

A medição do estoque de carbono em videiras envolve a avaliação de múltiplos componentes, desde a biomassa da planta até o carbono no solo (LEHMANN et al. 2019). Vários métodos são empregados para quantificar o carbono em diferentes compartimentos do ecossistema vitícola.

Cada método possui suas vantagens e limitações. A escolha do método deve levar em consideração a escala da avaliação, a disponibilidade de recursos e os objetivos específicos da pesquisa. A combinação de diferentes abordagens e a validação cruzada podem aumentar a confiabilidade e precisão das estimativas.

Método de Amostragem da Biomassa da Videira: envolve a colheita e pesagem de diferentes partes da videira, incluindo folhas, caules e cachos. A partir dessas amostras, é possível estimar a biomassa total da videira. Este método pode ser confiável para avaliações em pequena escala, mas a precisão depende da representatividade das amostras coletadas. Pode subestimar a biomassa aérea total se não incluir todos os componentes relevantes (LEHMANN et al. 2019).

Análise de Solo para Carbono Orgânico: Consiste em coletar amostras de solo em diferentes profundidades e analisar a concentração de carbono orgânico. Pode incluir métodos como a oxidação a seco ou úmida. Este método é confiável para avaliar o carbono no solo, mas a precisão pode variar de acordo com a representatividade das amostras coletadas. A heterogeneidade do solo pode afetar os resultados.

Sensoriamento Remoto e Imagens de Satélite: O uso de sensoriamento remoto e imagens de satélite permite a avaliação do vigor vegetativo das videiras, relacionado à produção de biomassa. Índices de vegetação, como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), são comumente utilizados. Esses métodos são valiosos para avaliações em grande escala (YANG et al., 2018). A confiabilidade depende da resolução espacial e temporal das imagens, enquanto a precisão pode ser influenciada por fatores como cobertura de nuvens e sazonalidade.

Isótopos Estáveis: análise de isótopos estáveis, como o carbono-13, pode ser utilizada para avaliar fontes específicas de carbono nas plantas, proporcionando *insights* sobre as contribuições de diferentes fontes. Este método é confiável para identificar fontes específicas de carbono, mas a precisão pode depender das condições ambientais e da complexidade do sistema (ROUSK et al. 2016)

Modelagem Matemática: Modelos matemáticos, como modelos de crescimento da planta e modelos de balanço de carbono, são usados para estimar o estoque de carbono com base em variáveis biológicas e ambientais (HANNAH et al., 2013). A confiabilidade desses modelos depende da precisão das equações e da precisão dos dados de entrada. A validação empírica é essencial para garantir resultados confiáveis.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão do carbono em sistemas de produção de vinho não apenas sustenta a qualidade do vinho, mas também desempenha um papel crucial na sustentabilidade ambiental dos vinhedos, refletindo a crescente importância de práticas vitivinícolas conscientes e ecologicamente responsáveis.

A busca por práticas sustentáveis além de ser uma necessidade ética, é também uma estratégia inteligente para garantir a viabilidade a longo prazo da indústria vinícola.

REFERÊNCIAS

- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal - Taiz & Zeiger - 3º edição.pdf**, 2006.
- SILVA, D. de A.; DUTRA, A. V.; LENK, F. L. & KOWALSKI, N. P. **O solo como estoque de carbono em cultivos de videiras**. *Scientia Vitae*, v. 2, n. 6, p. 1-8, 2014.
- VIEIRA, L. et al. **Sequestro de Carbono e Mercado de Carbono**. Goiânia: Centro Científico Conhecer, 2009. 9 p.
- FALKOWSKI, P. et al. **The Global Carbon Cycle: A Test of Our Knowledge of Earth as a System**, 2000.
- TAN, Z.; LAL, R. **Carbon sequestration potential estimates with changes in land use and tillage practice in Ohio, USA**. *Agriculture, ecosystems & environment*, v. 111, n. 1, p. 140-152, 2005.
- DE SOUZA, J. L.; PREZOTTI, L. C.; GUAARCONI M. A. **Potencial de sequestro de carbono em solos agrícolas sob manejo orgânico para redução da emissão de gases de efeito estufa**. *Idesia (Arica)*, v. 30, n. 1, p. 7-15, 2012
- LAL, R. **Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security**. *Science*, vol. 304, n. 5677, p. 1623-1627, 2004
- FELLER, C.; BERNOUX, M. **Historical advances in the study of global terrestrial soil organic carbon sequestration**. *Waste Management*, v. 28, n. 4, p. 734-740, 2008.
- GREEN, V. S.; STOTT, D. E.; CRUZ, J. C.; CURI, N. **Tillage impacts on soil biological activity and aggregation in a Brazilian Cerrado Oxisol**. *Soil and Tillage Research*, v. 92, n. 1, p. 114-121, 2007
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). **Fourth Assessment Report on climate change impacts, adaptation and vulnerability of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Cambridge: Cambridge University, 2021.

BROHÉ, Arnaud; EYRE, Nick; HOWARTH, Nicholas. **Carbon Markets: An International Business Guide**. Earthscan, Abingdon, 2009.

MAICAS, S. M.; MATEO, J. J. **Sustainability of Wine Production**, v. 12, n. 12, 2020.

REN, Y., ZANG, H., & WEI, C., **Vine age effects on soil respiration, carbon stock and microbial biomass in a vineyard in China**, 2019.

SMITH, P., et. al. **Greenhouse gas mitigation in agriculture**. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 2008.

ZANOTELLI, D., et, al. **Carbon sequestration in orchards and vineyards**, 2018.

SMITH, J., JONES, K., & DAVIS, R., **Carbon sequestration in grapevine systems: a life cycle perspective**, 2014.

GUZMÁN, et al., **Residue decomposition and nutrient release in a Mediterranean vineyard under organic and conventional farming**, 2017.

SMITH, P., et al., **Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)**. In Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, 2016

GOGLIO, P., et al., **Organic viticulture and soil carbon sequestration: A literature review**. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2019.

ZERI, M., et al., **Sustainable grape production and the winery establishment: A worldwide overview.**, 2017.

BAI, J., et al., **Greenhouse gas emissions from electricity generation in China: Implications for electric vehicles and wind and solar power.**, 2018

SMITH, P., et al., **How to measure, report and verify soil carbon change to realize the potential of soil carbon sequestration for atmospheric greenhouse gas removal.** Global Change Biology., 2019.

DELGADO-BAQUERIZO, M., et al. **Decoupling of soil nutrient cycles as a function of aridity in global drylands.** Nature, 2017.

ROUSK, J., et al., **Soil bacterial and fungal communities across a pH gradient in an arable soil."** The ISME Journal, 2016.

MURRAY, B. C. **Voluntary Carbon Markets: An International Business Primer."** Resources for the Future, 2015.

BUCHNER, B. K., et al., **Global Landscape of Climate Finance 2019.** Climate Policy Initiative, 2019

ELLERMAN, A. D., & BUCHNER, B., **Overlapping regulation of US CO₂ emissions: The interaction of the Clean Power Plan and the Renewable Fuel Standard,** 2007.

NACHTIGAL, J. C. Propagação e Instalação da cultura da videira. In: BOLIANE, A. C.; CORRÊA, L. S. (Eds.). **Cultura de uvas de mesa: do plantio à comercialização.** Ilha Solteira, 2001.

LEHMANN, J., et al., **The concept and future prospects of soil carbon sequestration: A review.** Agronomy for Sustainable Development, 2019.

YANG, Y., et al., **Mapping soil organic carbon stocks based on a modified random forest algorithm in a karst region.** Ecological Indicators, 84, 455-464, 2018.

HANNAH, L., et al., **Climate change, wine, and conservation.** Proceedings of the National Academy of Sciences, 110(17), 6907-6912, 2013.