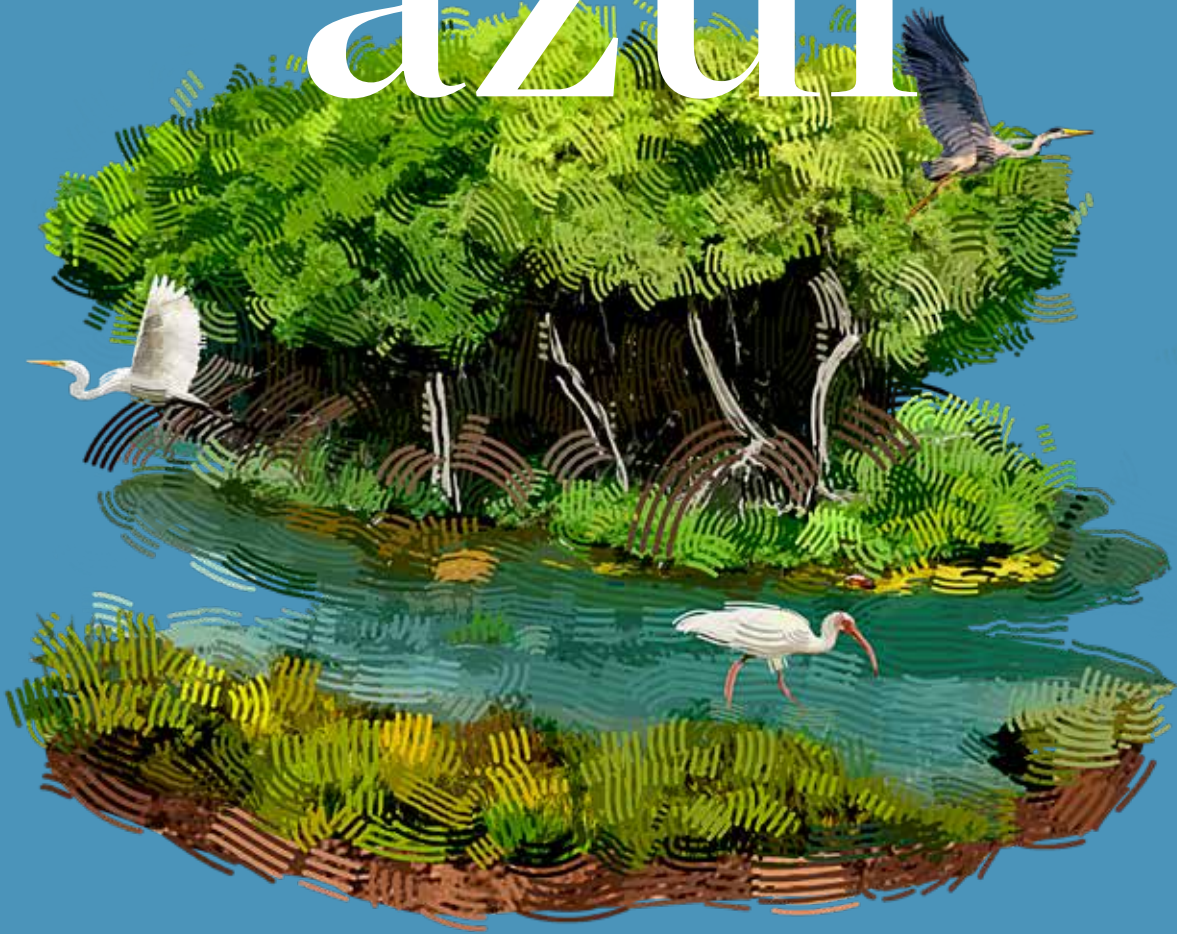


GUIAS DE MELHORES PRÁTICAS CIENTÍFICAS  
PARA PROJETOS DE CARBONO TERRESTRE

# Carbono azul



**Agosto de 2024**

Stefanie Simpson e Lindsey Smart

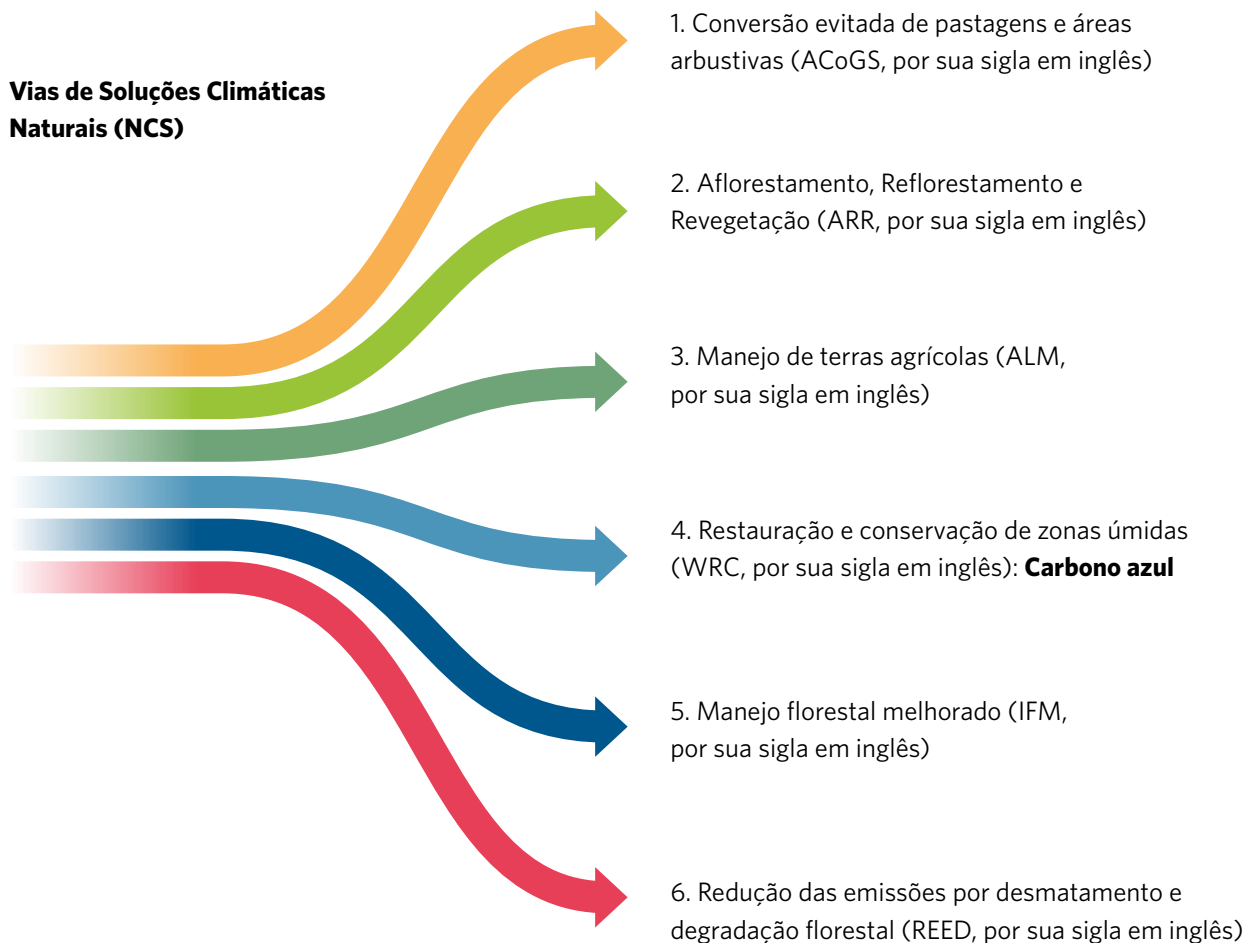
The Nature  
Conservancy 

Os métodos de contabilidade de carbono que reúnem as melhores práticas científicas constituem a espinha dorsal de todas as abordagens rigorosas para a emissão de créditos de carbono. No entanto, embora décadas de desenvolvimento científico tenham aumentado consideravelmente a qualidade dos créditos de carbono até hoje, as pesquisas continuam evoluindo e melhorando os métodos para contabilidade dos projetos.

Os Guias de Melhores Práticas Científicas são uma série de explicações sobre as melhores práticas científicas atuais bem como as lacunas dos projetos de carbono desenvolvidos em seis caminhos emergentes de Soluções Climáticas Naturais (NCS, por sua sigla em inglês):

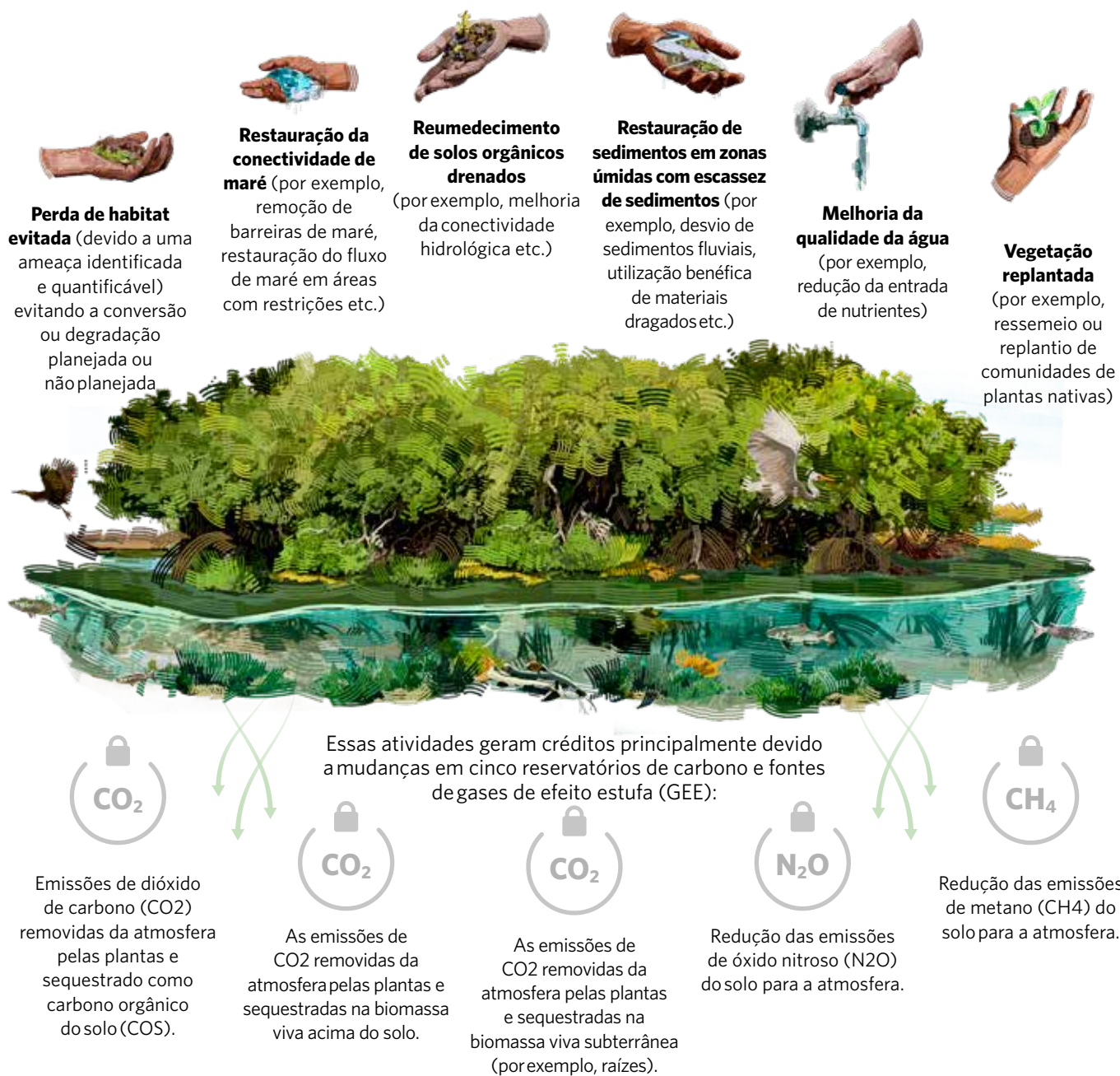
Este guia fornece uma visão geral de como projetos de **Carbono Azul** de alta qualidade aplicam os mais recentes avanços e ferramentas científicas para garantir a alta integridade das linhas de base, da medição e quantificação das reduções de emissões ou remoções, das estimativas de incerteza, e do monitoramento de atividades e permanência do projeto. Com este resumo, os compradores de créditos de carbono de alta qualidade podem avaliar melhor se os projetos estão efetivamente aplicando ferramentas e abordagens científicas rigorosas. Para orientações mais detalhadas sobre projetos de carbono azul de alta qualidade, consulte os [Princípios e Orientações de Carbono Azul de Alta Qualidade: Um relatório sobre investimentos de benefício triplo para pessoas, natureza e clima](#).

### Vias de Soluções Climáticas Naturais (NCS)



# O que são projetos de carbono azul?

As atividades do projeto dependem do contexto específico e da metodologia utilizada, mas devem abordar as causas mais profundas, ou secundárias, da perda ou degradação de habitats. Alguns exemplos de causas da degradação de zonas úmidas que poderiam ser mitigadas com o apoio do financiamento de carbono são o desenvolvimento de empreendimentos em zona costeira, a aquicultura e a agricultura, a infraestrutura costeira (resultando em restrições de maré) e a piora da qualidade da água. As consequentes zonas úmidas degradadas podem correr ainda mais riscos devido à elevação do nível do mar e à erosão. As atividades do projeto de carbono azul podem incluir:





Os projetos de carbono azul geram créditos de carbono por meio da implementação de atividades de restauração e/ou conservação (perdas evitadas) em habitats de zonas úmidas costeiras, incluindo **sistemas de manguezais, marismas (ou brejos litorâneos) e algas marinhas**. Embora outros habitats estejam sendo explorados (por exemplo, algas kelp), a ciência atual e as metodologias aprovadas limitam o carbono azul a esses três habitats costeiros vegetados (Howard et al. 2023). O que distingue o carbono azul de outras atividades é o foco no reservatório de carbono do solo (embora outros reservatórios possam ser incluídos na contabilidade do projeto). O carbono do solo representa um reservatório de carbono mais permanente (desde que o habitat permaneça intacto e saudável) quando comparado aos reservatórios de carbono da biomassa.

A paisagem costeira é excepcionalmente dinâmica, tornando a implementação dos projetos do mercado de carbono azul particularmente desafiadores. Dessa forma, o estado da ciência do carbono azul está em constante evolução e deve ser reavaliado regularmente. Um projeto de carbono azul bem-sucedido e de alta qualidade encontra o equilíbrio entre impacto ambiental, bem-estar da comunidade e conformidade legal. Os projetos não apenas identificam e quantificam as emissões de todos os reservatórios e fontes que provavelmente serão afetados pelas atividades do projeto dentro das fronteiras estabelecidas, mas também consideram os benefícios e as necessidades da comunidade. Projetos de alta qualidade devem usar os melhores dados científicos disponíveis e as melhores práticas para cumprir quatro tarefas principais:



**1.**

Monitorar a implementação de atividades de restauração ou conservação antes e depois da data de início do projeto.

**2.**

Quantificar as reduções de emissões ou remoções de GEE nos cenários de linha de base e de projeto.

**3.**

Envolver-se diretamente com as comunidades locais em toda a concepção e implementação do projeto.

**4.**

Quantificar outros serviços ecossistêmicos, como a melhoria da biodiversidade, a qualidade da água, a resiliência costeira etc.<sup>1</sup>

# Monitoramento das atividades do projeto



Projetos de carbono resultam em mudanças comportamentais positivas para o clima, fomentadas ou apoiadas por incentivos de mercado. Portanto, é essencial monitorar as condições do projeto de carbono azul antes e depois de sua implementação para garantir que haja uma mudança de prática e que tal mudança gere um benefício climático. Esta documentação é um componente fundamental para demonstrar a adicionalidade de um projeto em relação a um cenário de linha de base tradicional.

## Monitoramento prévio ao projeto

### DEMONSTRAÇÃO DE ADICIONALIDADE

De acordo com o Padrão de Carbono Verificado do Verra, a taxa global de execução de projetos de restauração e proteção de carbono azul é tão baixa que a maioria dos

projetos atenderá aos requisitos de adicionalidade, desde que também atendam o excedente regulatório (ou seja, as atividades do projeto não são obrigatórias por nenhuma lei, estatuto ou outra estrutura regulatória). No entanto, também se recomenda que os projetos demonstrem adicionalidade financeira (ou seja, o financiamento de carbono é necessário para superar as lacunas orçamentárias do projeto).

### CONSIDERAÇÕES LEGAIS

Paisagens costeiras podem estar sujeitas a distintos tipos de propriedade da terra, afetando a extensão da área de crédito. Por exemplo, as áreas entremarés podem ser de propriedade ou administradas por diversas entidades e, à medida que o nível do mar sobe, esses limites podem mudar à medida que a terra se submerge. Mesmo em casos em que a propriedade da terra é evidente, os governos podem reivindicar direitos de carbono como um recurso nacional. **Os proponentes do projeto precisarão mostrar claramente os direitos para desenvolver o projeto e quem será o proprietário dos créditos gerados.**

## ESTABELECIMENTO DA LINHA DE BASE

Os créditos em projetos de alta qualidade são quantificados como o impacto líquido das atividades do projeto nas emissões de GEE em relação a um cenário de base contrafactual no qual o projeto não foi implementado. **Para projetos de carbono azul, a linha de base mais confiável geralmente é a continuação do uso histórico da terra nos 10 anos anteriores à data de início do projeto.** Por exemplo, se um projeto visa incentivar a restauração do fluxo de maré em uma zona úmida represada, o cenário de base deve representar a continuação da represa da zona úmida e suas emissões de GEE associadas sem a reintrodução do fluxo de maré. Portanto, dados detalhados sobre as atividades do projeto são necessários para os anos anteriores ao projeto, bem como para a duração do projeto em si.

Paisagens costeiras são dinâmicas e podem correr riscos de impactos climáticos adicionais que devem ser considerados ao planejar um projeto. **Os projetos devem levar em conta os riscos potenciais à integridade da atividade de conservação ou restauração devido às mudanças climáticas e eventos climáticos extremos (por exemplo, elevação do nível do mar e furacões).**

As informações necessárias para satisfazer todos esses requisitos legais e de monitoramento incluem:

- **Delimitação da área do projeto:** coordenadas de GPS, dados de sensoriamento remoto e/ou registros legais de parcelas para a área onde as atividades do projeto são planejadas.
- **Fatores de emissão ou taxas de sequestro:** dados precisos sobre fatores de emissão (a taxa de liberação de GEE) e taxas de sequestro (a taxa de remoção de GEE da atmosfera).
- **Fatores de gestão de terras:** informações detalhadas sobre atividades de uso e gestão da terra antes e depois da implementação do projeto.

- **Resposta à elevação do nível do mar:** projeções dos efeitos da elevação do nível do mar no local do projeto, incluindo como o projeto monitorará mudanças na distribuição e elevação das zonas úmidas ao longo do tempo.
- **Permanência:** os benefícios do sequestro de carbono devem ser protegidos por pelo menos 40 anos (observando que alguns padrões, como o Verra, exigem 100 anos) ou levar em conta reversões subsequentes. Projetos de alta qualidade incluem estratégias para lidar com riscos (por exemplo, de elevação do nível do mar, desastres naturais).
- **Vazamento:** os projetos devem contabilizar as emissões causadas fora da área do projeto devido às atividades do projeto. Para projetos que utilizam a metodologia VCS VM0033, considera-se que não há vazamento se as condições de aplicabilidade da metodologia forem atendidas.
- **Propriedade inequívoca:** a entidade que registra o projeto de carbono deve ter direitos claros de propriedade sobre os créditos de carbono.
  - Em projetos liderados pelo governo, os órgãos governamentais de gestão de terras devem ser capazes de demonstrar autoridade legal para participar de projetos de carbono azul. Normalmente, essa autoridade permite a colaboração com financiadores de restauração, prestadores de serviços e outras partes interessadas.
  - Em algumas regiões, pode haver vários grupos de partes interessadas com diferentes direitos de acesso e uso da terra. Os dados do mapeamento das partes interessadas são importantes para determinar quem seria impactado pelas atividades do projeto, positiva ou negativamente.
  - Quando a terra for de propriedade privada, os proponentes do projeto devem avaliar as políticas locais e nacionais para determinar se pode haver reivindicação governamental sobre os direitos de carbono ou minerais.

**Projetos de carbono de alta qualidade devem usar os mesmos métodos para quantificar emissões e remoções tanto no cenário de base quanto no cenário do projeto durante o período de crédito do projeto.** Os cenários de linha de base devem ser avaliados a cada seis anos (conforme os critérios do Verra) e devem refletir as emissões e remoções que teriam ocorrido durante os anos do projeto se ele não tivesse sido implementado. Usar as mesmas ferramentas e métodos para quantificar emissões e remoções em cada cenário garante uma contabilidade de carbono consistente que mantém a integridade do cenário de base e, ao mesmo tempo, reduz a incerteza nos créditos gerados pelo projeto (Zhou et al. 2023).

## **IMPLANTAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO**

Para delinear um limite de área de projeto apropriado, é fundamental entender a cobertura de solo local e a dinâmica de uso do solo. Dados de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica (SIG) servem como ferramentas economicamente efetivas para (1) mapear a extensão e a mudança do habitat (por exemplo, estimando taxas de perda), (2) identificar riscos ou ameaças e (3) quantificar estoques de carbono. Usando combinações de bandas espectrais, índices de vegetação derivados de imagens de satélite e modelos digitais de elevação, os ecossistemas costeiros podem ser classificados em vários momentos, fornecendo mapas de extensão de linha de base e mudanças ao longo do tempo.

Além de bandas espectrais e índices de vegetação, métricas texturais derivadas de dados de radar e outras métricas estruturais tridimensionais derivadas de dados de

escaneamento laser (LiDAR, por sua sigla em inglês) podem ser usadas para informar a classificação, e para prever a biomassa acima do solo (e, com isso, o carbono acima do solo) em alguns casos, dada a forte relação entre a estrutura do dossel e a biomassa em sistemas de manguezais. Além disso, medições repetidas desses atributos texturais e estruturais, juntamente com índices de vegetação, podem ser usadas para monitorar a saúde e a condição do ecossistema (por exemplo, degradação) ao longo do tempo e identificar áreas potenciais para restauração.

Alguns ecossistemas de carbono azul são mais fáceis de mapear e monitorar com abordagens de sensoriamento remoto do que outros. Por exemplo, os manguezais têm características espectrais únicas que se distinguem bem à identificação por meio de dados de observação da Terra. Eles também sequestram e armazenam uma quantidade considerável de carbono acima do solo em biomassa viva, que pode ser mapeada e monitorada com sensoriamento remoto. As algas marinhas, por serem frequentemente submareais, são mais difíceis de monitorar por meio de dados de sensoriamento remoto disponíveis publicamente devido às limitações da capacidade das imagens de satélite de penetrar na coluna de água. Portanto, é importante entender os limites da aplicabilidade do sensoriamento remoto nesses diferentes sistemas. Ferramentas de sensoriamento remoto também apresentam incertezas inerentes, ocasionalmente levando à classificação incorreta da cobertura do habitat ou a mudanças na cobertura. **Todos os projetos de carbono de alta qualidade que utilizam análises de sensoriamento remoto para preencher lacunas de dados devem seguir protocolos apropriados para identificar e relatar incertezas por meio de métodos de controle e garantia de qualidade, como avaliações de precisão e outras métricas de desempenho.** Trabalhando com gestores de terras, essas incertezas podem ser abordadas de forma sistemática, melhorando a precisão das análises por meio de esforços de verificação e consulta/validação por parte de especialistas.



## DICAS PARA COMPRADORES

- Pergunte quem é o proprietário da terra e dos créditos e como isso foi determinado.
- Pergunte como a área do projeto foi delimitada e quais métodos foram usados para garantir que apenas as terras onde as atividades do projeto foram implementadas fossem incluídas.
- Peça para analisar imagens históricas para verificar o uso do solo do projeto antes de sua implementação.
- Pergunte como a degradação e a conversão do habitat foram medidas e peça para ver um relatório documentando a precisão e as incertezas das metodologias (se dados de sensoriamento remoto foram usados, isso geralmente é feito mediante um relatório de avaliação de acurácia).
- Pergunte como as causas secundárias da degradação foram identificadas e como as atividades do projeto abordarão isso diretamente.
- Pergunte se e como o aumento do nível do mar afetará a área do projeto, as atividades do projeto e as futuras emissões de GEE. Pergunte se esses impactos foram considerados na determinação da linha de base do projeto.
- Pergunte quais métodos foram usados para quantificar emissões e remoções nos cenários de linha de base e do projeto.
- Pergunte como as atividades do projeto serão monitoradas ao longo do tempo (por exemplo, antes, durante e depois do projeto).
  - Se forem utilizados métodos de sensoriamento remoto ou modelagem, peça documentação sobre os métodos e suas precisões (taxas de falsos positivos e falsos negativos).
  - Pergunte se há um plano de validação de campo para corroborar os métodos aplicados e pergunte se os atores envolvidos serão consultados para fornecer recomendações que contribuam para os resultados.



# Quantificação de reduções de emissões ou remoções



## Quantificação de reservatórios de carbono e fontes de GEE

Um elemento central de todos os projetos de carbono é a quantificação precisa das reduções líquidas de emissões ou remoções de GEE atribuídas a um projeto, ao mesmo tempo em que se contabiliza de forma conservadora as incertezas dessa estimativa. Esse valor líquido é a soma do impacto do projeto em todos os reservatórios de carbono e fontes de GEE identificados nos limites de GEE do projeto. Diferentes reservatórios de carbono e fontes de GEE geralmente exigem diferentes métodos de quantificação para estimar com precisão o impacto de um projeto. Diferentes métodos de quantificação incluem

diferentes tipos de incerteza. **Projetos de carbono de alta qualidade descrevem de forma transparente tanto os métodos de quantificação quanto os tipos de incerteza contabilizados em todos os reservatórios e fontes de GEE creditados.**

A disponibilidade de dados existentes sobre emissões e sequestro de carbono azul pode ser limitada em muitas regiões geográficas, e coletar esses dados pode ser difícil e financeiramente oneroso. Para aliviar esse fardo, a atual metodologia de restauração de zonas úmidas costeiras do Verra (VM0033), em atualização na data da publicação desse documento, permite que os desenvolvedores de projetos utilizem alguns valores padrão<sup>2</sup>, dependendo do tipo de sistema, e dos reservatórios e fontes de GEE do projeto (Tabela 1). Quando valores locais não estão disponíveis, esses valores padrão representam os melhores dados disponíveis para projetos de carbono azul. No entanto, projetos que investem em dados de campo coletados localmente melhoram ainda mais a precisão e reduzem a incerteza do volume de crédito estimado.

**Tabela 1:** Abordagens de quantificação para fontes e reservatórios de GEE de carbono azul usando a metodologia VM0033.

Reservatório/fonte de GEE	Padrão	Indicadores de referência	Publicado/modelado	Medida direta
Taxa de sequestro de C na biomassa herbácea	3 toneladas/ha, dimensionado para 100% de cobertura, uma vez	Não	Não	Métodos biológicos de coleta de campo
Reservatório de C em biomassa lenhosa	Não	Não	Não	Métodos de inventário florestal
Taxa de sequestro de C do solo	1,46 toneladas/ha/ano com pelo menos 50% de cobertura* Dedução para C alóctone3 em caso de solo não orgânico	Sistemas iguais ou semelhantes	Sistemas iguais ou semelhantes	Núcleos de solo com plano de referência
Taxa de emissão de CH <sub>4</sub> do solo	>18ppt** = 0,011 toneladas/ha/ano >20ppt** = 0,005 toneladas/ha/an			Covariância de câmara fechada ou de vórtice
Taxa de emissão de N <sub>2</sub> O do solo	Varia de acordo com a salinidade e o sistema			

\*O valor padrão de C do solo (Chmura et al. 2003) só pode ser usado na ausência de valores publicados.

\*\*O valor padrão de CH<sub>4</sub> do solo (Poffenbarger et al. 2011) só pode ser usado na ausência de valores publicados.

As principais considerações sobre o uso de abordagens de quantificação de carbono azul incluem:

- Fatores de emissão padrão podem ser usados quando cientificamente confiáveis e quando não houver dados relevantes publicados localmente.** Os valores padrão permitidos incluem dados publicados pelo Painel Internacional sobre Mudanças Climáticas (IPCC) para uso em inventários nacionais de GEE (nível 1), dados específicos de cada país para fatores-chave (nível 2) ou dados de estoque de carbono e taxas de emissões de um inventário detalhado resultante de medições repetidas ao longo do tempo ou modelagem (nível 3). Os dados de nível 1 ou 2 podem ser acompanhados por grandes intervalos de erro, por exemplo, +/-50% para reservatórios acima do solo e +/-90% para reservatórios de carbono do solo; no entanto, esses valores padrão são considerados conservadores e, portanto, permitidos, desde que dados derivados de estudos locais não estejam disponíveis.
- Às vezes, são usados indicadores de referência para estimar emissões de GEE; no entanto, eles não são bem desenvolvidos para sistemas de carbono azul. Um indicador de referência comumente utilizado é a salinidade para estimativas de metano, com base em Poffenbarger et al. 2011, o que sugere que para zonas úmidas com salinidades acima de 18 ppt, as emissões de metano são insignificantes. No entanto, uma nova pesquisa (atualmente em publicação, com lançamento previsto para 2024) sugere que esse intervalo é mais variável. **Indicadores de referência devem ser usados com cautela.**
- Os valores publicados** podem ser usados para a taxa média de emissões de GEE e podem ser uma abordagem válida, desde que sejam derivados de dados publicados em revistas científicas, e que os dados sejam **do “mesmo sistema ou similar” ao da área do projeto.**
- Os modelos são outra opção para estimar as emissões de GEE; no entanto, muitos modelos atuais ainda não foram adequadamente desenvolvidos e testados para o carbono azul. Para ser usado, o modelo deve ser validado com medições diretas de um sistema com profundidade do lençol freático, salinidade, hidrologia de maré, suprimento de sedimentos e comunidade vegetal iguais ou semelhantes ao sistema do projeto. **Todas as possíveis fontes de incerteza do modelo devem ser avaliadas usando abordagens estatísticas reconhecidas, como aquelas descritas nas Diretrizes do IPCC de 2006.**
- Os dados coletados em campo incluem taxas de emissão de GEE medidas diretamente ou mudanças no estoque de carbono por meio de amostragem de campo. **Para obter uma contabilidade robusta de carbono azul por meio de amostragem de campo, a estratificação deve ser usada para subdividir a área do projeto em estratos espacialmente explícitos que sejam semelhantes.** Por exemplo, os estratos podem ser escolhidos com base no tipo e profundidade do

solo, profundidade do lençol freático, cobertura vegetal, salinidade, tipo de solo ou mudanças esperadas nas características ao longo da vida útil do projeto. Ao realizar as medições, aumentar o número de estratos melhorará a precisão da contabilidade mesmo que reduzindo a área amostral.

**Como os fluxos de GEE de carbono azul podem variar, os dados coletados em campo são os mais confiáveis e precisos e devem ser priorizados sempre que possível.**

# Coleta de dados sobre fluxos de carbono e GEE no solo

## CARBONO ORGÂNICO NO SOLO (COS)

**Os estoques de COS (a densidade de carbono orgânico no solo) devem ser sempre medidos no início de um projeto e periodicamente (pelo menos a cada 5 anos) durante a vida útil do projeto.** A medição inicial representa o ponto de partida comum dos cenários de linha de base e do projeto, que divergem do estoque de COS inicial quando o projeto começa. Ao determinar o COS, as amostras de solo são coletadas e analisadas quanto a 1) profundidade do solo, 2) densidade do solo seco e 3) teor de carbono orgânico do solo

(%Corg). A densidade seca total multiplicada pelo teor de carbono orgânico do solo determina o estoque de carbono em unidades de massa por volume.

Conforme observado acima, os estoques de COS devem ser medidos usando um modelo de amostragem aleatória estratificada. Essa abordagem divide uma área de projeto em unidades pequenas e homogêneas para reduzir a variação medida nos estoques de COS dentro de cada estrato. Amostras de solo devem ser coletadas e analisadas para permitir o cálculo subsequente dos estoques de COS e das mudanças nos estoques de COS. A intensidade amostral (número de amostras por unidade de área) dentro de cada estrato deve ser escolhida para equilibrar a compensação entre custos de amostragem e reduções de créditos devido a erros amostrais. A intensidade amostral ideal dependerá da geografia específica e da variabilidade associada nos atributos ambientais dentro dessa geografia, bem como das atividades do projeto que estão sendo creditadas.

**A melhor prática atual para obter dados de COS é coletar amostras físicas do solo e enviá-las a um laboratório de solo credenciado para análise.** Esse processo é demorado e caro e pode representar uma barreira de custo para muitos projetos, mas os dados são cruciais para demonstrar a integridade de projetos de carbono de alta qualidade. Como os valores padrão e nacionais tendem a ser conservadores, os dados coletados localmente não só serão mais precisos, mas também poderão gerar mais créditos. Os compradores de créditos de carbono de alta qualidade podem considerar investir em esforços de pesquisa para reduzir os custos de medição do COS e aumentar a geração potencial de créditos.

**Table 2:** Comparação de técnicas de laboratório para determinar a porcentagem de carbono orgânico do Manual de Carbono Azul (Howard et al. 2014)..

	Método de combustão seca		Método de combustão úmida
	Analizador elementar	Perda na ignição (LOI, por sua sigla em inglês)	Digestão de H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> e Dicromato (Método Walkley-Black)
<b>Prós</b>	Medida quantitativa do conteúdo de carbono	Medida semiquantitativa do conteúdo de carbono orgânico; baixo custo e tecnologia simples	Medida semiquantitativa do conteúdo de carbono orgânico; baixo custo e química simples
<b>Contras</b>	Requer instrumentação especial; pode ser caro	Porcentagem de C orgânico determinada a partir de relações derivadas empiricamente entre carbono e matéria orgânica	O H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> nem sempre digere o carbono igualmente; produz resíduos perigosos.

**Outro elemento importante da medição do sequestro de carbono é entender o ponto em que o acúmulo de carbono começa devido às atividades do projeto.** Algumas metodologias têm requisitos rigorosos quanto à instalação de marcadores de horizontes como método principal para medir o acúmulo de carbono no solo após o início do projeto. A coleta de amostras de solo por si só não dirá quanto material foi acumulado devido ao projeto. É preciso considerar o tempo envolvido, e os marcadores de horizontes são o método mais econômico.

### **BIOMASSA ACIMA E ABAIXO DO SOLO**

A biomassa viva acima do solo (AGB, por sua sigla em inglês) pode ser herbácea (predominantemente em marismas e algas marinhas) ou lenhosa (predominantemente em manguezais), enquanto a biomassa viva abaixo do solo (BGB, por sua sigla em inglês) é composta de raízes e rizomas. Os protocolos para medir o carbono da biomassa podem diferir entre os tipos e densidades de habitat. Em muitos casos, equações alométricas podem ser usadas para descrever a relação entre parâmetros mensuráveis (por exemplo, altura, diâmetro na altura do peito (1,3m), densidade, cobertura etc.) e biomassa total, e são comumente usadas para evitar práticas de medição destrutivas. **. As equações utilizadas devem ser do mesmo sistema ou de um sistema similar, e/ou espécie se possível, e estar bem estabelecidas na literatura (ou seja, publicada em canais científicos).** A biomassa de cada tipo de material vegetal é então multiplicada pelo fator de conversão de carbono correspondente para determinar os estoques do reservatório de carbono acima do solo. Um desafio na medição de estoques de carbono em habitats de carbono azul pode ser a acessibilidade. As florestas de manguezais podem ser particularmente desafiadoras para coleta de amostras, pois geralmente têm raízes de palafitas ou pneumatóforos abundantes, são cercadas por canais de maré e são afetados pelos ciclos de maré.

Às vezes, os manguezais são tratados de forma semelhante às florestas de terras altas em termos de quantificação de biomassa; no entanto, há algumas diferenças importantes a serem

consideradas na forma como a biomassa dos manguezais é medida. Por exemplo, ao amostrar árvores de mangue em uma parcela de amostragem, é recomendado que todas as árvores vivas sejam medidas (em comparação com árvores de apenas 10 cm ou mais em parcelas de florestas de terras altas) ou que subparcelas sejam usadas em áreas de amostragem onde árvores menores são predominantes. Em muitas regiões geográficas, as espécies dominantes de manguezais têm uma estrutura acima do solo mais curta, geralmente chamada de manguezal anão ou arbustivo. A disponibilidade de equações alométricas apropriadas para uso em sistemas de manguezais anões é muito mais limitada. As poucas equações existentes para sistemas anões são originárias principalmente da Flórida, EUA; no entanto, a abordagem mais precisa é desenvolver equações para as espécies da área de interesse. Devido à alta variabilidade entre espécies e regiões geográficas, o desenvolvimento de equações alométricas localmente relevantes é uma área muito necessária para pesquisas futuras. Da mesma forma, para o BGB, há equações alométricas limitadas para uso em manguezais, mas o reservatório de carbono BGB pode ser um componente essencial. Existem algumas equações alométricas relatadas na literatura e, embora algumas sejam conservadoras, estudos adicionais que desenvolvam equações regionalmente específicas seriam uma contribuição valiosa para o campo. Para obter uma estimativa geral da biomassa subterrânea, geralmente utilizam-se relações de proporções entre biomassa abaixo e acima do solo. As proporções padrão de biomassa abaixo do solo para a biomassa acima do solo dos manguezais variam de 0,29 a 0,96 (Howard et al., 2014).

Para marismas em áreas de maré, ao elaborar um plano de amostragem, é importante diferenciar entre marismas altos, médios e baixos. A maior parte do carbono armazenado em marismas de maré é encontrada na biomassa subterrânea e nos solos, enquanto a biomassa acima do solo é mais significativa em ambientes de marismas altos. Para BGB, os reservatórios de carbono podem ser estimados usando equações alométricas desenvolvidas ou medições diretas. Equações alométricas podem ser desenvolvidas para uma espécie e localização específicas para se ter uma abordagem mais precisa.



O AGB de algas marinhas pode variar sazonalmente e, em alguns locais, pode ser totalmente perdido durante o inverno. Os prados submareais exigirão equipamento de mergulho com snorkel ou cilindro para coleta de amostras, o que pode exigir muitos recursos.

O momento da amostragem em habitats de carbono azul é importante, pois os reservatórios de carbono podem variar dependendo da estação, do teor de umidade do solo e da salinidade. **É importante ter um plano de amostragem bem elaborado, que considere os cronogramas das marés, possíveis eventos de inundação, acessibilidade aos locais de amostragem, e se as parcelas de amostragem serão temporárias ou permanentes, além do tamanho necessário para a área amostral capturar uma amostra representativa de plantas.** A amostragem é recomendada no pico da estação de crescimento, consistentemente de ano a ano, geralmente do meio ao fim do verão.

**O Manual de Carbono Azul (Howard et al. 2014) fornece orientação e detalhes adicionais para a coleta de dados de AGB e BGB em habitats de carbono azul,** incluindo a determinação do conteúdo de carbono de palmeiras e outras vegetações não arbóreas, pneumatóforos e serapilheira.

## FLUXOS DE GEE

Os fluxos de GEE são as emissões líquidas naturalmente absorvidas e emitidas pela área do projeto, que são consideradas no número de créditos gerados. As emissões usadas para quantificar o fluxo podem ser determinadas usando medições diretas ou por indicadores de referência. Ao usar medições diretas, o fluxo de GEE é estimado entre o solo e a vegetação e a atmosfera/coluna de água por meio de medições ou modelagem precisas. Os fluxos de GEE podem ser medidos com precisão usando torres de covariância de vórtices ou câmaras estáticas. Há benefícios em qualquer uma das abordagens. Embora as torres de covariância de vórtices requeiram um esforço mínimo de monitoramento, podem ter um custo proibitivo, pois exigem a compra de torres de fluxo e sensores caros e a remuneração de pessoal para executar

processamentos de dados complexos. Os métodos de câmara estática podem ser mais baratos de instalar, mas exigem mais tempo e esforço para estabelecer e monitorar (e exigem também a compra de sensores). As câmaras exigem a construção ou compra de plataformas para evitar perturbar o local onde os fluxos serão medidos.

Ao usar um indicador de referência para fluxos de GEE, as mudanças nos estoques de carbono podem ser determinadas de duas maneiras: 1) método de diferença de estoque, que estima a diferença nos estoques de carbono medidos em dois momentos (estimativa de nível 3), ou 2) método de ganho-perda, que estima a diferença nos estoques de carbono com base em fatores de emissão de atividades específicas e é derivado da literatura e de dados publicados a nível nacional (estimativas de nível 1 e 2) (Howard et al 2014).

**Enquanto indicadores de referência podem ser usados para emissões de CO<sub>2</sub> e para emissões de CH<sub>4</sub> em casos em que a salinidade está acima de 18 ppt, medições diretas de fluxo são necessárias para medir emissões de N<sub>2</sub>O e CH<sub>4</sub> em salinidade mais baixa.** As emissões de N<sub>2</sub>O estão principalmente relacionadas a insumos agrícolas e aquícolas e geralmente são insignificantes, a menos que o sistema tenha uma fonte de carga de nitrato (por exemplo, escoamento de fertilizantes), enquanto a produção de CH<sub>4</sub> está diretamente relacionada à salinidade (Poffenbarger et al 2011).

**O Manual de Carbono Azul (Howard et al 2014) é um recurso padrão para métodos de coleta e contabilização de carbono azul.** Incluímos aqui algumas informações resumidas, particularmente sobre carbono orgânico do solo e fluxos de GEE, que são de particular importância na contabilidade do carbono azul. Para mais informações sobre as etapas de coleta, análise e cálculo do carbono orgânico do solo, fluxos de GEE e para medir o carbono da biomassa acima e abaixo do solo em ecossistemas de carbono azul, consulte o manual: [Manual de Carbono Azul - Carbono Azul Costeiro: métodos para avaliar estoques de carbono e fatores de emissão em manguezais, marismas de maré e prados de algas marinhas.](#)



Demonstração de um núcleo de solo retirado de uma marisma. Baseado em imagens de ©Stefanie Simpson



Exemplo de monitoramento de GEE usando câmaras estáticas e um cais montado. Baseado em imagens de ©NOAA

# Modelagem de GEE

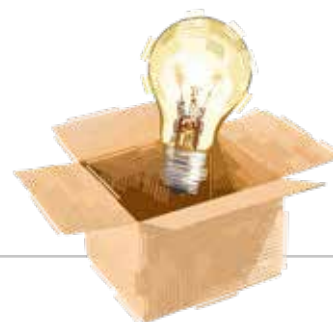
Os sistemas costeiros são altamente dinâmicos; portanto, os modelos biogeoquímicos costeiros precisam ser bastante sofisticados e incorporar vários parâmetros. Os modelos costeiros são conhecidos por sua alta variabilidade e são propensos a erros ou simplificação excessiva. Se um desenvolvedor de projeto optar por usar essa abordagem, **os modelos usados para simular os efeitos das atividades do projeto nas reduções e remoções de GEE devem sempre ser calibrados e validados em relação a um conjunto de dados medidos dos mesmos GEEs.** A validação do modelo deve relatar de forma transparente os erros de previsão e propagar esse erro para simulações subsequentes. Projetos de carbono de alta qualidade devem disponibilizar relatórios de validação de modelos publicamente que incluem todos os dados usados para calibração e validação e os exibem intuitivamente, ao contrário das previsões do modelo como gráficos de dispersão simples. **Os modelos usados em projetos para quantificar remoções de COS devem ser validados com base em sua capacidade de prever mudanças nos estoques de COS e não simplesmente os estoques.**

Dados de campo muito específicos são necessários para validar modelos usados em projetos de carbono azul de alta qualidade. Os melhores dados vêm de estudos de longo prazo (> 5 anos) onde medições repetidas da fonte ou reservatório de GEE são feitas ao longo do tempo em parcelas semelhantes onde tanto a atividade

de mitigação do projeto quanto a atividade de tradicional são implementadas. Para o carbono azul, esses modelos baseados em dados reais ainda estão sendo desenvolvidos e exigem mais validação de campo para serem amplamente aplicáveis.

## Contabilização da incerteza

Projetos de alta qualidade que quantificam múltiplas fontes de incerteza devem contabilizar de forma conservadora o impacto dessas incertezas no número de créditos emitidos pelo projeto. A contabilização adequada da incerteza cria uma distribuição de probabilidade em torno de uma estimativa pontual do impacto climático de um projeto. O volume final de crédito emitido por um projeto pode então ser selecionado dessa distribuição para representar uma emissão conservadora com base nas incertezas relatadas. **Padrões de alta qualidade exigem que os projetos levem em conta a incerteza na contabilidade do projeto quando houver um erro maior que 20% com um intervalo de confiança de 90% ou um erro de 30% com um intervalo de confiança de 95%.** Como a distribuição de incerteza é criada a partir da incerteza nos métodos de quantificação do projeto, essa abordagem de crédito incentiva projetos a reduzir a incerteza por meio de etapas como redução do erro de previsão do modelo (melhoria da validação do modelo), investimento em dados derivados localmente e redução do erro de amostra (coleta de mais amostras).



## DICAS PARA COMPRADORES

- Solicite um relatório resumindo todas as fontes e reservatórios de GEE creditados pelo projeto, seus métodos de quantificação associados e os tipos de incerteza contabilizados.
  - Garanta que os mesmos métodos de quantificação sejam usados tanto para os cenários de linha de base quanto para os cenários do projeto para cada fonte ou reservatório de GEE.
- Pergunte quais dados estão sendo coletados no local do projeto e quais métodos estão sendo usados. As medições de campo seguem os protocolos definidos no Manual de Carbono Azul (Howard et al 2014)?
- Garanta que as emissões finais de créditos consideram de forma conservadora a incerteza e os riscos, emitindo menos do que o volume médio de crédito esperado do projeto (ou seja, contribuindo para um fundo de reserva de 20% ou mais, em média para projetos de carbono azul, já que o risco de elevação do nível do mar por si só pode ter um desconto de 20 pontos). Refinar e minimizar a pontuação de risco requer muitos dados locais específicos – de uma área para a qual mais investimentos são necessários.
- Para projetos que medem estoques de COS e mudanças de estoque:
  - Pergunte se a área do projeto foi estratificada antes de coletar amostras de solo.
  - Pergunte se métodos de massa de solo equivalentes foram usados ao calcular mudanças no estoque de COS.
  - Pergunte sobre a densidade da amostragem e se o erro da amostra foi contabilizado no volume final de créditos.
  - Se métodos de medição alternativos forem usados, pergunte qual é o erro desses métodos e se foi contabilizado na emissão final de créditos.
- Para projetos que medem biomassa acima e abaixo do solo:
  - Pergunte se o projeto está usando equações alométricas relevantes para espécie e local, e se essas equações foram revisadas em publicações científicas.
- Para projetos de modelagem de emissões de GEE:
  - Revise o relatório de validação do modelo do projeto e certifique-se de tenha um gráfico de dispersão simples do desempenho do modelo para dados de estudos anteriores às atividades do projeto.
- Pergunte como a elevação do nível do mar foi considerada.



# Envolvimento das comunidades locais



Os projetos costeiros de carbono azul geralmente envolvem diversas partes interessadas e terras com posse incerta. Projetos de carbono azul podem ocorrer onde essas comunidades vivem e trabalham e ter impactos significativos nas economias locais. Projetos de alta qualidade implementam salvaguardas sociais para proteger os direitos das comunidades, incorporam conhecimentos ecológicos locais e liderança em todos os elementos do desenho e implementação do projeto e garantem acesso equitativo à terra e às receitas de carbono. As melhores práticas incluem:

- Estabelecer um processo de consentimento livre, prévio e informado (CLPI)
- Garantir a participação inclusiva dos povos indígenas e comunidades locais, mulheres, jovens e outros grupos marginalizados no planejamento, desenho e governança do projeto
- Estabelecer mecanismos acessíveis de feedback e reclamação
- Respeitar os usos da terra e culturas locais
- Capacitar as comunidades locais para definir a partilha equitativa das receitas (de preferência

permitindo que as comunidades obtenham uma porcentagem mais elevada de benefícios à medida que os preços aumentam e compensando os desenvolvedores de projetos com uma remuneração fixa)

- Operar localmente e contextualmente
- Elaborar acordos e contratos que sejam transparentes e equitativos

Para mais orientações para informar a tomada de decisões e ações com partes interessadas em carbono azul, consulte os seguintes recursos:

- [Princípios e orientações de carbono azul de alta qualidade: Um investimento de benefício triplo para pessoas, natureza e clima.](#)
- [Incluindo o conhecimento ecológico local \(CEL\) na conservação e restauração de manguezais: Um guia de boas práticas para profissionais e pesquisadores](#)
- [Guia de Direitos Humanos para Trabalhos com Povos Indígenas e Comunidades Locais](#)



## **DICAS PARA COMPRADORES**

- Pergunte se o mapeamento das partes interessadas foi realizado e como a comunidade local esteve e está envolvida no planejamento e na implementação do projeto.
- Peça para ver um registro do processo de CLPI.
- Pergunte como gênero foi considerado na abordagem e envolvimento das partes interessadas.
- Pergunte como as barreiras linguísticas foram consideradas.
- Pergunte quem é o proprietário da área do projeto e se a mesma entidade manterá os direitos de carbono.
  - Se os direitos do crédito foi transferida, como a comunidade está se beneficiando das receitas de carbono? A maioria das receitas vão para entidades externas ou ficam com os proprietários locais do crédito?
- A abordagem de compartilhamento da receita dos benefícios do carbono usa porcentagens ou taxas fixas?

# Carbono azul Revisão de metodologia



Poucos padrões de carbono oferecem metodologias para creditar projetos de carbono azul, e há uma variação substancial nos requisitos mínimos para o uso de ferramentas científicas entre metodologias. A tabela abaixo resume as metodologias existentes publicadas pelos principais padrões para mercados voluntários de carbono.

**Tabela 3:** Resumo das metodologias disponíveis para zonas úmidas costeiras.

Padrão	Metodologia	Ano de publicação	Estado de desenvolvimento	Tipo de mercado	Em processo de atualizações
<b>Padrão de Carbono Verificado (VCS)</b>	VCS VM0033 Metodologia para restauração de zonas úmidas marés e pradarias de algas marinhas, v2.0 (atualmente sendo atualizado para v2.1)	2023	Completo	Voluntário	x
<b>VCS</b>	VCS VM0007 Marco Metodológico REDD+ (REDD+MF), v1.6 (atualmente sendo atualizado para v1.7)	2020	Completo	Voluntário	x
<b>ACR</b>	Restauração do Delta da Califórnia e das Zonas Úmidas Costeiras ACR	2017	Completo	Voluntário	
<b>Programa Chinês de Reduções de Emissões (CCER)</b>	Metodologia de Projeto de Redução Voluntária de Emissões de Gases de Efeito Estufa: Criação de Vegetação de Manguezal (CCER-14- 002-V01)	2023	Completo	Regulated	
<b>Esquema Australiano de Créditos de Carbono (ACCS)</b>	Iniciativa de Agricultura de Carbono — Restauração dos Fluxos de Marés em Ecossistemas de Carbono Azul, usando o Modelo de Contabilidade de Carbono Azul (BlueCAM)	2021	Completo	Regulated	
<b>Plan Vivo (PV Clima V5)</b>	PM001: Metodologia de Avaliação de Benefícios de Carbono na Agricultura e Florestas	2023	Completo	Voluntário	x
<b>Gold Standard</b>	Metodologia para Manejo Sustentável de Manguezais v1.0	2024	<i>Em desenvolvimento</i>	Voluntário	Em rascunho

Observação: Esta lista pretende ser inclusiva no momento da redação (maio de 2024), mas não exaustiva e não indica endosso destas metodologias pela The Nature Conservancy.



## TIPS FOR BUYERS

- A metodologia VCS VM0033 exige que os projetos atendam às melhores práticas científicas atuais. Realize uma diligência extra em projetos verificados por outras metodologias para garantir que eles atendam a um nível semelhante de rigor.
- Observe que as metodologias VM0007 e VM0033 estão com atualizações pendentes. Espere-se que os módulos de carbono azul em VM0007 sejam incluídos na VM0033.

## NOTAS DE RODAPÉ

- 1 Observe que este guia não define como realizar as avaliações de serviços ecossistêmicos dos projetos de carbono. Para opções sobre como avaliar esses benefícios, consulte as metodologias disponíveis do Verra como o Padrão de Impacto Verificado para o Desenvolvimento Sustentável (SDVISTA) ou o Padrão de Clima, Comunidade e Biodiversidade (CCB).
- 2 Um valor padrão é um fator de emissão 'global' que não é específico do local e pode superestimar ou subestimar as emissões/sequestro em um determinado lugar. Eles são geralmente desenvolvidos pelo IPCC e aprovados para uso sob uma determinada metodologia. No entanto, um fator de emissão de alta qualidade pode e deve ser medido em campo especificamente no local de interesse (nível 3).
- 3 Abreviação de "alóctone". Carbono alóctone é o carbono que foi sequestrado em um local, transportado e depositado em outro local.

## REFERÊNCIAS

- Chmura, Gail & Anisfeld, Shimon & Cahoon, Donald & Lynch, James. (2003). Global carbon sequestration in tidal, saline wetlands. *Global Biogeochem Cycles*. 17.
- Emmer, I., von Unger, M., Needelman, B., Crooks. S., Emmett-Mattox, S. 2015.
- Coastal Blue Carbon in Practice: A manual for using the VCS Methodology for Tidal Wetland and *Seagrass Restoration VM0033*. Restore America's Estuaries and Silvestrum. Arlington, VA. <https://estuaries.org/wp-content/uploads/2018/08/rae-coastal-blue-carbon-methodology-web.pdf>
- Grimm, Spalding, Leal et al. 2024. *Including Local Ecological Knowledge (LEK) in Mangrove Conservation & Restoration: A best practice guide for practitioners and researchers*. [www.mangrovealliance.org](http://www.mangrovealliance.org): *Global Mangrove Alliance*. <https://doi.org/10.5479/10088/118227>.
- Howard, J., Sutton-Grier, A.E., Smart, L.S., Lopes, C.C., Hamilton, J., Kleypas, J., Simpson, S., McGowan, J., Pessarrodona, A., Alleyway, H.K., Landis, E., 2023. Blue carbon pathways for climate mitigation: known, emerging and unlikely, *Marine Policy*, Volume 56, <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2023.105788>
- Howard J., Hoyt S., Isensee K., Telszewski M., Pidgeon E., Coastal blue carbon: methods for assessing carbon stocks and emissions factors in mangroves, Tidal Saltmarshes Seagrasses ("The Blue Carbon Manual") (2014) doi:[https://www.cifor.org/publications/pdf\\_files/Books/BMurdiyarsol401.pdf](https://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/BMurdiyarsol401.pdf)
- Poffenbarger H.J., Needelman B.A., Megonigal J.P., Salinity influence on methane emissions from tidal marshes, *Wetlands* 31 (5) (2011) 831-842.
- Zhou et al. 2023. How does uncertainty of soil organic carbon stock affect the calculation of carbon budgets and soil carbon credits for croplands in the U.S. Midwest? *Geoderma*, 429, 116254.



## **AGRADECIMENTOS E ISENÇÃO DE RESPONSABILIDADE**

Os autores gostariam de agradecer aos especialistas e revisores que tornaram este guia possível: Diana Rodriguez-Paredes, Kathleen Onorevole, Kim Myers, Ryan Moyer, e Sophia Bennani-Smires.

Este guia foi parcialmente financiado pela Shell S.A. com pagamento de US\$ 26.000. Este documento foi escrito pela The Nature Conservancy sob o controle editorial total da The Nature Conservancy. As opiniões, dados e análises neste relatório são independentes das opiniões da Shell S.A. e suas subsidiárias.

