
GL-MC-004 – Metodologia de Cálculos — Quantificação do Estoque de Carbono Conservado (CO₂eT) por Estoque *Ex-Post*

Versão: 1.0

Data: Setembro de 2025

Desenvolvido por: Flávio Alfaro

Base normativa: CCPs (ICVCM), ICROA Code of Best Practice, CORSIA, ISO 14064-2

Integrações metodológicas: GL-M-001 (núcleo); GL-MC-004 (cálculo/relato); Anexo
Leakage da GL-MC-004 (classe→gate); GL-MS-012 (dados/QA/QC); GL-MS-011
(requisitos nacionais/Art. 6)

Co-benefícios: Avaliados com base no padrão CCB (Climate, Community & Biodiversity
Standards)

GREENLINE CARBONSAT
Setembro de 2025

Sumário

1.	Introdução.....	7
1.1	Objetivo.....	7
1.2	Escopo de aplicação.....	7
1.3	Referenciais normativos.....	7
1.4	Integração e remissões.....	8
1.5	Princípios aplicáveis ao cálculo.....	8
2.	Fronteiras, unidades de análise e identificação dos polígonos.....	9
2.1	Escopo.....	9
2.2	Limites espaciais (SSR).....	9
2.3	Unidade de análise e condições de elegibilidade.....	9
2.4	Janela temporal e ciclo (vintage).....	9
2.5	Identificação e serialização.....	9
2.6	Regras de sobreposição e consistência espacial.....	10
2.7	Máscaras, estratificação e pré-processamento.....	10
2.8	Metadados obrigatórios (por polígono/ciclo).....	10
2.9	Publicação e vínculo ao registro.....	10
3.	Fontes de dados e critérios de elegibilidade.....	11
3.1	Lista positiva versionada.....	11
3.2	Política de atualização de versões.....	11
3.3	Metadados obrigatórios por fonte e por polígono/ciclo.....	11
3.4	Pré-processamento mínimo obrigatório (checklist).....	12
3.5	CrITÉrios operacionais de elegibilidade do dado.....	12
3.6	Inconsistências, exclusões técnicas e CAPA.....	12
3.7	Responsabilidades.....	13
4.	Estratificação, máscaras e pré-processamento.....	14
4.1	Estratificação das áreas florestais.....	14
4.2	Aplicação de máscaras obrigatórias.....	14
4.3	Pré-processamento de dados.....	14
4.4	Documentação e metadados.....	15
5.	Conversões e fórmulas (AGB → C → CO ₂ e).....	16
5.1	Visão geral do pipeline.....	16

5.2	Entradas obrigatórias (por ciclo).....	16
5.3	Parâmetros e fatores (definidos no Anexo A).....	16
5.4	Cálculo por pixel/célula (nível micro)	17
5.5	Agregação por polígono e por ciclo (nível meso).....	19
5.6	Consolidação do resultado do ciclo (nível macro).....	19
5.7	Precisão, arredondamento e casas decimais.....	20
5.8	Tratamento de incerteza (antes do número final).....	20
5.9	Scripts, reproducibilidade e trilhas.....	20
5.10	Saídas mínimas do capítulo (por polígono/ciclo).....	21
6.	Fator Técnico de Confiança (FTC).....	22
6.1	Objetivo.....	22
6.2	Escopo	22
6.3	Natureza e efeito	22
6.4	Nota Normativa — FTC_min (padrão Greenline Carbonsat).....	22
6.5	Insumos do FTC.....	23
6.6	Cálculo e evidências.....	23
7.	Tratamento de incerteza e exclusões técnicas (pré-consolidação).....	24
7.1	Objetivo.....	24
7.2	Disparadores de tratamento (gatilhos).....	24
7.3	Opções de saneamento (ordem de preferência).....	24
7.4	Critérios objetivos para exclusão técnica.....	25
7.5	Registro CAPA (Correção e Prevenção).....	25
7.6	Saída do tratamento e encaminhamento	25
7.7	Documentos e evidências mínimos.....	25
7.8	Papéis e responsabilidades	26
8.	Consolidação por ciclo e saídas numéricas	27
8.1	Objetivo.....	27
8.2	Entradas para consolidação (pós-Seção 7).....	27
8.3	Chaves e estrutura de dados (por polígono/ciclo)	27
8.4	Regras de arredondamento e apresentação.....	27
8.5	Reconciliação e consistência.....	28
8.6	Serialização e integridade	28

8.7	Saídas numéricas e arquivos obrigatórios	28
8.8	Encerramento do ciclo (pronto para VVB e registro)	29
8.9	Responsabilidades	29
9.	Pacote de Verificação (VVB)	30
9.1	Objetivo.....	30
9.2	Composição do dossiê (por projeto/ciclo).....	30
9.3	Critérios de aceite pelo VVB.....	31
9.4	Fluxo e papéis.....	31
9.5	Evidências e formato.....	31
10.	Metadados, Versionamento e Rastreabilidade	32
10.1	Objetivo.....	32
10.2	Chaves e identificadores obrigatórios	32
10.3	Metadados técnicos mínimos (por artefato).....	32
10.4	Regras de versionamento (prospectivas).....	33
10.5	Logs e trilha de auditoria.....	33
10.6	Integridade e segurança.....	33
10.7	Publicação e espelhamento	33
10.8	Responsabilidades	34
11.	Publicação e Transparência.....	35
11.1	Objetivo.....	35
11.2	O que é público (Sumário Público – Carbonsat)	35
11.3	O que não é público (confidencial).....	35
11.4	Regras de claims e uso de resultados.....	36
Anexo A	— Fatores e Equações (normativo)	37
I.	Escopo.....	37
II.	Requisitos normativos.....	37
III.	Critérios de aceite	37
IV.	Entregáveis mínimos.....	37
Anexo B	— Estratificação e Máscaras (diretriz).....	39
I.	Escopo.....	39
II.	Requisitos normativos.....	39
III.	Critérios de aceite	39

IV. Entregáveis mínimos.....	39
Anexo C — QA/QC (remissão à GL-MS-012).....	40
I. Escopo.....	40
II. Requisitos normativos.....	40
III. Critérios de aceite	40
IV. Entregáveis mínimos.....	40
Anexo D — Leakage (Gestão de Vazamento)	41
I. Escopo.....	41
II. Requisitos normativos.....	41
III. Critérios de aceite	41
IV. Entregáveis mínimos.....	41
Anexo E — Serialização e Registro.....	42
I. Escopo.....	42
II. Requisitos normativos.....	42
III. Critérios de aceite	42
IV. Entregáveis mínimos.....	42
Anexo F — FTC (Fator Técnico de Confiança): fórmula, parâmetros e auditoria.....	43
I. Estrutura do índice e pesos	43
II. Cálculo do score por componente.....	44
III. Fórmula do FTC	45
IV. Limiar normativo e efeito de governança.....	45
V. Evidências e auditoria (mínimo).....	45
VI. F.6 Atualização controlada (prospectiva).....	45

1. Introdução

1.1 Objetivo

Definir os procedimentos exclusivos de cálculo e relato do CO₂eT (Estoque de CO₂ equivalente mantido) para projetos LULUCF de floresta preservada sob a Greenline Carbonsat, utilizando sensoriamento remoto oficial e conversões padronizadas. A **GL-MC-004** não trata de adicionalidade, permanência ou leakage; esses elementos não entram na fórmula e são usados como insumos de governança conforme **GL-MS-002**.

1.2 Escopo de aplicação

- a) Projetos REDD de conservação que adotem a **GL-M-001** como metodologia-mãe.
- b) Unidade de análise: polígono validado do projeto; resultado apurado por ciclo/vintage e consolidado no registro.
- c) Fontes elegíveis: séries/produtos NASA/ESA homologados; inventários de campo não são aceitos para cálculo (uso apenas comparativo)

1.3 Referenciais normativos

Base normativa: CCPs (ICVCM), ICROA Code of Best Practice, CORSIA, ISO 14064-2.

Referência técnica: IPCC 2006/2019 (conversões e princípios para biomassa aérea).

Integrações metodológicas: GL-M-001 (núcleo), GL-MC-004 (cálculo/retrato), Anexo Leakage da GL-MC-004 (classe→gate), GL-MS-012 (dados/QA/QC), GL-MS-011 (requisitos nacionais/Art. 6). *(Mantemos apenas o apontamento; os mapas de aderência ficam em anexo informativo.*

Nota normativa sobre equivalência externa: A **GL-MC-004** adere a princípios do IPCC (2006/2019), ISO 14064-2, ICVCM Core Carbon Principles e ICROA Code of Best Practice.

O cumprimento desta metodologia não implica elegibilidade automática a programas do mercado voluntário. A compatibilidade ou aceitação nesses programas depende de credenciamento específico junto a cada iniciativa.

1.4 Integração e remissões

- **GL-M-001:** exige quantificação ex-post por estoque com dados NASA/ESA e obriga o uso da GL-MC-004 para bases, estratificação e fórmulas; também define publicação/serialização no registro. Remissão direta.
- **GL-MS-002:** adicionalidade, permanência (β /fR/fP) e leakage funcionam como gate de decisão (Emitir/Condicionar/Reter) e não ajustam o CO₂eT. Remissão direta.
- **Anexo Leakage (GL-MC-004):** diagnóstico e classe Verde/Amarela/Vermelha alimentam o Anexo III da GL-MS-002 (registro com URI/hash e decisão). Remissão direta.
- **Qualidade de dados/QA-QC:** aplicar GL-MS-012 antes da consolidação do CO₂eT (exclusões técnicas, versões, hashes). Remissão direta.

1.5 Princípios aplicáveis ao cálculo

- a) Ex-post por estoque: emissão baseada no CO₂eT validado no ciclo; sem baseline contrafactual.
- b) Conservadorismo técnico: tratar incertezas e exclusões técnicas antes da consolidação (ex.: nuvem/sombra/falhas).
- c) Sem multiplicadores/buffers na fórmula: riscos e permanência são governança, não matemática do CO₂eT.
- d) Rastreabilidade e unicidade: resultado por polígono/ciclo com ID/versão/hash, publicação de metadados/agregados e prevenção de double counting.

2. Fronteiras, unidades de análise e identificação dos polígonos

2.1 Escopo

Definir, em SIG, os limites do projeto e dos polígonos válidos (floresta preservada) com base em dados remotos oficiais; inventários de campo não são aceitos para cálculo do CO₂eT. As camadas, versões e critérios de elegibilidade das fontes NASA/ESA devem ser documentados nesta fase.

2.2 Limites espaciais (SSR)

Definir, em SIG, os limites do projeto e dos polígonos válidos (floresta preservada) com base em dados remotos oficiais; inventários de campo não são aceitos para cálculo do CO₂eT. As camadas, versões e critérios de elegibilidade das fontes NASA/ESA devem ser documentados nesta fase.

2.3 Unidade de análise e condições de elegibilidade

- a) Unidade de análise: polígono validado do projeto. O cálculo do CO₂eT é apurado por polígono e por ciclo (vintage) e depois consolidado para emissão/registro.
- b) Elegibilidade jurídico-fundiária (remissão à **GL-MS-007**): cada polígono só é incluído no cálculo se a situação jurídica/titularidade/licenças estiver comprovada conforme a **GL-MS-007** (KYC/KYB, AML/ABC, titularidade de direitos de carbono). Essa verificação é pré-condição do ciclo e integra o gate de decisão definido na **GL-MS-002**.

2.4 Janela temporal e ciclo (vintage)

Cada resultado é vinculado ao ciclo anual verificado (vintage) e publicado no pacote do ciclo do projeto, seguindo o fluxo MRV/registro definido na **GL-M-001**.

2.5 Identificação e serialização

Todo polígono/ciclo deve ser identificado por ID único com estrutura mínima: [Projeto]–[Polígono]–[Vintage]–[Série]–[Hash], assegurando unicidade e rastreabilidade no registro **Greenline Carbonsat**.

2.6 Regras de sobreposição e consistência espacial

- a) Vedada a sobreposição entre polígonos de um mesmo projeto/ciclo.
- b) Havendo intersecção com áreas de terceiros, ajustar limites antes do cálculo para evitar dupla contagem, mantendo trilha de decisão (mapas/versões).
- c) A unicidade no registro é mandatória.

2.7 Máscaras, estratificação e pré-processamento

Aplicar máscaras (ex.: nuvem/sombra/água), estratificação por tipologia florestal e demais procedimentos de pré-processamento antes da conversão $AGB \rightarrow C \rightarrow CO_2e$. Regras e parâmetros devem estar alinhados às bases definidas nesta metodologia.

2.8 Metadados obrigatórios (por polígono/ciclo)

Registrar no dossiê técnico e no pacote para verificação/registro: fonte/versão dos dados (NASA/ESA), período de observação, procedimentos de pré-processamento, URI interna do arquivo, hash de integridade e versão do relatório de cálculo.

2.9 Publicação e vínculo ao registro

O resultado por polígono/ciclo (CO_2eT) é vinculado ao registro Carbonsat com identificação digital e publicado conforme regras de transparência da metodologia-mãe (metadados e agregados).

Remissões para evitar redundância:

- Fluxo MRV, publicação e prazos → **GL-M-001**.
- Dados/QA-QC (exclusões técnicas e versionamento) → **GL-MS-012**.
- Compliance jurídico (KYC/KYB, AML/ABC, titularidade/licenças) → **GL-MS-007** (pré-condição).

3. Fontes de dados e critérios de elegibilidade

3.1 Lista positiva versionada

A quantificação do CO₂eT deve utilizar exclusivamente produtos de sensoriamento remoto oficiais listados e versionados pela Greenline Carbonsat no **GL-GR-010** (Guia de Referência de Dados).

Exemplos (preencher conforme GL-GR-010 vigente):

- NASA GEDI — [versão aceita]; uso: proxies/estruturas para biomassa aérea.
- ESA Sentinel-1/2/3 — [versões aceitas]; uso: cobertura, estratificação, detecção de mudança.
- USGS Landsat 8/9 — [collection/versão aceita]; uso: séries históricas e integridade.

Observação: inventários de campo podem ser citados apenas como material comparativo/validatório, não integram o cálculo do CO₂eT.

3.2 Política de atualização de versões

- Substituição prospectiva: versões novas substituem as anteriores somente para ciclos futuros (não retroagem).
- Controle de mudança: cada troca de versão deve registrar motivo, impacto esperado e data de corte no dossiê do ciclo.
- Rastreabilidade: toda fonte utilizada deve ter URI interna, versão oficial e hash registrados (ver 3.3).

3.3 Metadados obrigatórios por fonte e por polígono/ciclo

Registrar, no dossiê técnico e no pacote para VVB/registro, no mínimo:

- Fonte oficial (ex.: NASA/ESA/USGS); produto; versão; data/período de aquisição;
- Parâmetros de processamento (nível do produto, filtros, thresholds relevantes);
- URI interna (repositório Greenline Carbonsat); hash de integridade; versão do relatório de cálculo;
- Responsável técnico e data do processamento.

3.4 Pré-processamento mínimo obrigatório (checklist)

Aplicar antes de qualquer conversão AGB→C→CO_{2e}:

- Máscaras: nuvem, sombra, água/superfície não florestal;
- Estratificação: tipologias florestais e classes LULUCF aplicáveis;
- Consistência espacial: alinhamento geométrico dos datasets;
- Integridade temporal: coerência do período de observação por polígono/ciclo;
- Testes de qualidade: SNR/QA flags do produto, percentual de cobertura útil, verificação de artefatos.

3.5 Critérios operacionais de elegibilidade do dado

Um dataset é elegível se atender cumulativamente:

- Oficialidade & auditabilidade (agências reconhecidas e documentação pública);
- Qualidade mínima (parâmetros definidos no GL-GR-010, p.ex. %máx de nuvem, resolução, intervalo temporal por bioma);
- Replicabilidade (procedimentos claros, scripts ou parâmetros arquivados);
- Coerência com o ciclo (datas compatíveis com o vintage e janelas definidas).

3.6 Inconsistências, exclusões técnicas e CAPA

- Quando houver falhas/lacunas/incerteza material, o proponente deve aplicar exclusão técnica ou reprocesso antes da consolidação do CO_{2e}T.
- Abrir CAPA (Correção/Prevenção) documentando causa-raiz, correção aplicada e prevenção para próximos ciclos.
- Remissão obrigatória: critérios de QA/QC, limiares de incerteza e formatos de evidência seguem a **GL-MS-012**.

3.7 Responsabilidades

- Proponente: selecionar fontes elegíveis, aplicar pré-processamento, registrar metadados e evidências.
- VVB: verificar aderência à lista positiva, às versões e aos critérios de qualidade/rastreabilidade.
- Greenline Carbonsat: validar conformidade do pacote de dados, homologar versões aceitas no **GL-GR-010** e registrar o conjunto utilizado no ciclo.

Legenda de Siglas :

- *AGB — Above-Ground Biomass (biomassa aérea)*
- *CAPA — Corrective and Preventive Action (ação corretiva e preventiva)*
- *CO₂eT — Estoque de dióxido de carbono equivalente conservado (toneladas)*
- *ESA — European Space Agency*
- *GEDI — Global Ecosystem Dynamics Investigation (NASA)*
- *GLI — Greenline Institute*
- *GL-GR-010 — Guia de Referência de Dados da Greenline Carbonsat*
- *Hash — Assinatura criptográfica para integridade de arquivo (ex.: SHA-256)*
- *LULUCF — Land Use, Land-Use Change and Forestry (uso da terra, mudança de uso e florestas)*
- *NASA — National Aeronautics and Space Administration*
- *SNR — Signal-to-Noise Ratio (relação sinal-ruído)*
- *URI — Uniform Resource Identifier (identificador de recurso digital)*
- *USGS — United States Geological Survey*
- *VVB — Validation and Verification Body (entidade independente de verificação)*

4. Estratificação, máscaras e pré-processamento

4.1 Estratificação das áreas florestais

O proponente deve estratificar as áreas válidas em tipologias florestais LULUCF (ex.: floresta densa, aberta, secundária), utilizando séries remotas oficiais (NASA/ESA/USGS) e parâmetros do **GL-GR-010**.

- A estratificação deve ser documentada com mapas e shapefiles auditáveis.
- Cada estrato precisa estar vinculado a um polígono único (ID/vintage).
- Mudanças de estratificação entre ciclos devem ser justificadas tecnicamente e registradas em metadados com URI e hash.

4.2 Aplicação de máscaras obrigatórias

Antes do cálculo, o proponente deve aplicar máscaras de:

- a) Nuvens e sombras — utilizando algoritmos nativos das fontes (p.ex., QA flags do Sentinel/Landsat).
- b) Água e superfícies não florestais — exclusão via classificação espectral.
- c) Áreas não elegíveis — sobreposições com áreas não tituladas ou juridicamente inválidas (checagem **GL-MS-007**).

4.3 Pré-processamento de dados

Os dados devem passar por etapas mínimas de pré-processamento, incluindo:

- Correção geométrica (coerência de projeções e alinhamento entre séries).
- Correção radiométrica (quando aplicável).
- Consistência temporal (uso de imagens do mesmo período de observação por ciclo).
- Exclusão técnica de pixels inconsistentes (conforme QA/QC da **GL-MS-012**).

4.4 Documentação e metadados

Para cada etapa de estratificação, máscara e pré-processamento, o proponente deve documentar:

- Dados de entrada (fonte, versão, URI, hash).
- Procedimentos aplicados (algoritmos, parâmetros, softwares).
- Resultados intermediários (mapas estratificados, shapefiles, relatórios).
- Responsável técnico e data de execução.
- 4.5 Verificação e validação
- Proponente: executa a estratificação, aplica máscaras e gera a documentação técnica.
- VVB: revisa a consistência das estratificações, a aplicação de máscaras e a rastreabilidade das etapas.
- Greenline Carbonsat: valida a conformidade metodológica do pacote de dados e confirma sua publicação no ciclo correspondente do registro.

Legenda de Siglas :

- *GL-GR-010 — Guia de Referência de Dados da Greenline Carbonsat*
- *GL-MS-007 — Compliance Jurídico para Projetos de Carbono*
- *GL-MS-012 — QA/QC e critérios de dados*
- *ID — Identificador único do polígono/ciclo*
- *LULUCF — Land Use, Land-Use Change and Forestry*
- *QA/QC — Quality Assurance / Quality Control*
- *URI — Uniform Resource Identifier*
- *VVB — Validation and Verification Body*

5. Conversões e fórmulas (AGB → C → CO₂e)

5.1 Visão geral do pipeline

Este capítulo define como calcular o CO₂eT (Estoque de CO₂ equivalente conservado) por estoque ex-post, usando apenas biomassa aérea (AGB) obtida por sensoriamento remoto. O cálculo é feito por pixel/célula elegível, agregado ao polígono e ao ciclo (vintage).

Observação: *riscos (permanência), adicionalidade e leakage não entram na matemática do CO₂eT; influenciam a decisão de emissão em outras normas.*

5.2 Entradas obrigatórias (por ciclo)

- Raster/Grade AGB (unidades: Mg/ha ou t/ha) para as áreas válidas (pós-máscaras e estratificação).
- Mapa de elegibilidade (binário) aplicado previamente (Seções 2–4).
- Área por pixel (ha) consistente com o sistema de referência.
- Parâmetros e fatores (Seção 5.3; Tabelas no Anexo A – Fatores e Equações).
- Metadados: fonte/versão, período de observação, URI, hash, responsável técnico.

5.3 Parâmetros e fatores (definidos no Anexo A)

- CF — fração de carbono na biomassa aérea (adotar valor/tier conforme Anexo A).
- $\rho_{CO_2/C}$ — fator estequiométrico 44/12 (C → CO₂).
- a_px — área (ha) de cada pixel/célula no sistema cartográfico adotado.
- AGB_px — biomassa aérea por hectare no pixel (Mg/ha).
- M — máscara de elegibilidade (1 = válido; 0 = inválido).
- S — estrato florestal (quando houver parâmetros específicos por estrato).

Notas:

- Somente AGB (biomassa aérea) é utilizada. Raiz, liteira, solos e madeira morta não integram o cálculo.
- O CF pode variar por bioma/estrato conforme o Anexo A; na ausência de fator específico, aplicar o padrão conservador estabelecido no Anexo.
- **Anexo A – Fatores e Equações (normativo): contém a tabela de CF por bioma/estrato, exemplos de unidades e conversões, e validações de consistência (checagens rápidas) para auditoria.**

5.4 Cálculo por pixel/célula (nível micro)

Para cada pixel i elegível no polígono P :

1. Aplicar modelo científico baseado na interação entre radiação eletromagnética e propriedades biofísicas da vegetação.
2. Considerar que a radiação refletida pela vegetação apresenta assinaturas espectrais associadas à atividade fotossintética, conteúdo de água, estrutura celular, pigmentos e composição bioquímica, temperatura e energia superficial.
3. Combinar índices espectrais validados na literatura científica, organizados em dez grupos funcionais que representam dimensões complementares da vegetação — verdor, pigmentação, umidade, estrutura, biomassa e estresse fisiológico.
4. Utilizar apenas dados provenientes de fontes públicas e verificáveis (NASA, ESA, USGS e correlatas), assegurando rastreabilidade, auditabilidade e transparência.

Etapas do processo metodológico

5. Executar o pré-processamento dos dados de entrada:
 - a) Correção atmosférica e radiométrica dos produtos de sensoriamento remoto;
 - b) Aplicação de máscaras de nuvem, sombra e água (QA60, SCL e composições QA);
 - c) Reamostragem e normalização espacial entre sensores;
 - d) Equalização intersensorial de reflectância (*cross-calibration*).
6. Realizar o cálculo dos índices espectrais:
 - a) Computar índices multiespectrais e hiperespectrais derivados dos sensores homologados;
 - b) Agrupar funcionalmente os índices em dez categorias temáticas;
 - c) Normalizar e padronizar estatisticamente os valores (método *z-score*).
7. Proceder à integração de dados estruturais:
 - a) Interpolar *footprints* de biomassa observada;
 - b) Cruzar variáveis espectrais por regressão e aprendizado supervisionado;
 - c) Gerar modelos regionais calibrados por bioma e tipologia florestal.

8. Executar a modelagem e validação:
 - a) Treinar o modelo GLVCI (Greenline Vegetation Carbon Index) com parcelas de biomassa real (t/ha);
 - b) Realizar validação cruzada (*k-fold*) e amostragem espacial estratificada;
 - c) Obter correlação média $R^2 \geq 0,90$ entre biomassa observada e estimada;
 - d) Controlar o erro padrão por classe de cobertura vegetal.

9. Realizar a conversão e integração final:
 - a) Converter biomassa em carbono utilizando coeficiente 0,47 (IPCC 2006);
 - b) Converter carbono em CO₂ equivalente pelo fator 3,667;
 - c) Integrar espacial e temporalmente os resultados para determinar o estoque conservado e o incremento anual (tCO₂e/ha/ano);
 - d) Emitir relatório georreferenciado e verificável com rastreabilidade integral dos metadados.

10. Garantir governança, rastreabilidade e sigilo técnico do modelo, reconhecendo que os algoritmos, pesos e parâmetros internos constituem propriedade intelectual da Greenline Carbonsat, protegida por confidencialidade e controles de acesso.

11. Registrar que o modelo de cálculo e a metodologia Greenline Carbonsat foram auditados e validados pela Bureau Veritas, por meio da “Declaração de Validação Greenline 2024”, que atesta a credibilidade técnica, rastreabilidade dos processos e conformidade científica da metodologia de cálculo de carbono, assegurando a integridade e a transparência dos resultados apresentados.

Fonte: Bureau Veritas, *Declaração de Validação Greenline 2024 (ENG)*.

Disponível em:

<https://www.bureauveritas.com.br/sites/g/files/zypfnx206/files/media/document/Declara%C3%A7%C3%A3o%20de%20Valida%C3%A7%C3%A3o%20Green%20Line%202024%20ENG.pdf>

5.5 Agregação por polígono e por ciclo (nível meso)

Para um polígono P no ciclo t:

1. Definir o polígono P como a unidade geoespacial de referência, resultante da somatória dos pixels elegíveis que compõem a área de interesse do projeto.
2. Considerar que cada pixel possui leitura individual associada ao tempo orbital e à disponibilidade de passagem dos sensores empregados.
3. Realizar a leitura espectral periódica conforme o calendário orbital de cada satélite, com atualização média de 4 (quatro) em 4 dias, assegurando a continuidade temporal e a rastreabilidade de cada observação.
4. Após a obtenção das leituras espectrais e resultados intermediários, somar os valores de todos os pixels do polígono P para o ciclo t.
5. Dividir a somatória pelo número total de observações válidas dentro do ciclo de monitoramento, obtendo o valor médio ponderado das leituras e resultados.
6. Aplicar as correções de consistência e eliminar valores atípicos identificados no processo de QA/QC, conforme critérios da GL-MS-012.
7. Gerar o valor agregado de $CO_2eT(P,t)$, representando o estoque médio de carbono conservado no polígono P durante o ciclo t.
8. Registrar o resultado com três casas decimais e consolidar o metadado com a identificação completa do ciclo (projeto-polígono-vintage-hash).
9. Manter registro das leituras originais, médias intermediárias e filtros aplicados, assegurando a reprodutibilidade dos cálculos e a rastreabilidade plena do histórico.

5.6 Consolidação do resultado do ciclo (nível macro)

1. Consolidar os cálculos de todos os polígonos do projeto.
2. Aplicar QA/QC final (checagens de integridade, reconciliação de somas, consistência de metadados).
3. Gerar o Relatório de Cálculo do ciclo com: versão de dados, parâmetros, data de corte e hash.
4. Serializar o resultado (Projeto-Polígono-Vintage-Série-Hash) e publicar metadados no registro.

5.7 Precisão, arredondamento e casas decimais

- Nível pixel: manter ≥ 3 casas decimais (tCO₂e).
- Agregação por polígono: manter ≥ 2 casas decimais.
- Divulgação/registro: arredondar o total por polígono/ciclo para tCO₂e inteiras (regra de arredondamento bancário; documentar no relatório).
- Nunca arredondar antes das somas.

5.8 Tratamento de incerteza (antes do número final)

- Incerteza material (p.ex., baixa qualidade, grande % de exclusão por nuvem/sombra) deve ser saneada com reprocesso ou exclusão técnica antes da consolidação dos cálculos.
- Persistindo incerteza material não resolvida, o resultado vai a “condicionado” no pacote do ciclo (gate de governança fora desta metodologia).
- A quantificação não aplica multiplicadores ou descontos por incerteza; o tratamento é pré-conta (**GL-MS-012**).

5.9 Scripts, reproducibilidade e trilhas

- Armazenar scripts/notebooks, parâmetros, versões de bibliotecas, URIs e hashes de insumos e saídas.
- Vincular todos os arquivos ao Carbonsat-ID do ciclo.
- A Greenline Carbonsat valida conformidade metodológica do pacote de dados e o procedimento de cálculo antes da publicação do ciclo.

5.10 Saídas mínimas do capítulo (por polígono/ciclo)

- Tabela de parâmetros efetivamente usados (CF, 44/12, área de pixel, etc.)
- Relatório de cálculo (PDF/planilha) com fórmulas, versões, URI e hash
- Raster de AGB pós-máscaras e shape do polígono (versões e hashes)
- Arquivo de consolidação com os cálculos e chaves de serialização

Legenda de Siglas :

- *AGB — Above-Ground Biomass (biomassa aérea)*
- *CF — Carbon Fraction (fração de carbono da biomassa)*
- *CO₂eT — Estoque de dióxido de carbono equivalente conservado (t)*
- *GL-GR-010 — Guia de Referência de Dados da Greenline Carbonsat*
- *Hash — Assinatura criptográfica para integridade (ex.: SHA-256)*
- *LULUCF — Land Use, Land-Use Change and Forestry*
- *URI — Uniform Resource Identifier*
- *VVB — Validation and Verification Body*

Anexo A – Fatores e Equações (normativo): contém a tabela de CF por bioma/estrato, exemplos de unidades e conversões, e validações de consistência (checagens rápidas) para auditoria.

6. Fator Técnico de Confiança (FTC)

6.1 Objetivo

Estabelecer o índice de confiança técnica do cálculo do CO₂eT por polígono e por ciclo, consolidando métricas de qualidade de dados e processamento sob a **GL-MC-004**. O FTC expressa, em escala 0–1 (ou 0–100%), o grau de confiabilidade do resultado sem alterar a fórmula do CO₂eT.

6.2 Escopo

Aplica-se a todos os projetos/ciclos submetidos a esta metodologia. O FTC é obrigatório e deve acompanhar o resultado do CO₂eT no pacote do ciclo e no Sumário Público.

6.3 Natureza e efeito

O FTC não integra o cálculo do CO₂eT (Seção 5).

- Resultados \geq FTC_min são elegíveis ao fluxo normal de emissão.
- Resultados $<$ FTC_min são marcados como “condicionados” e submetidos ao gate de decisão previsto na **GL-MS-002**, em conjunto com os demais insumos de governança (ex.: leakage).
- O FTC_min é normativo e definido no Anexo F; pode ser ajustado prospectivamente (ciclos futuros) conforme critérios técnicos.

6.4 Nota Normativa — FTC_min (padrão Greenline Carbonsat)

O FTC_min aplicável é 0,65. Resultados \geq 0,80 são aceitos sem condicionantes; $0,65 \leq$ FTC $<$ 0,80 devem ser condicionados (com medidas corretivas ou saneamento); FTC $<$ 0,65 são retidos até revisão e reprocessamento. Esses limiares são harmônicos ao Gate de Emissão (GL-MS-002) e ao QA/QC (GL-MS-012), devendo ser revistos apenas de forma prospectiva para ciclos futuros (Anexo F).

6.5 Insumos do FTC

O FTC consolida, no mínimo, as dimensões abaixo (com pesos definidos no Anexo F):

- a) Cobertura útil do dado no polígono/ciclo (% de área efetivamente analisada após máscaras).
- b) Exclusões técnicas (nuvem/sombra/artefatos) e tratamento adequado (reprocesso ou descarte).
- c) Consistência temporal (janelas coerentes por bioma e por ciclo).
- d) Consistência espacial (alinhamento geométrico/ reprojeção, ausência de distorções).
- e) Conformidade com versões homologadas no **GL-GR-010** (dados/produtos e respectivas versões).
- f) Trilha QA/QC documental (evidências de checagens e reconciliações exigidas na **GL-MS-012**).

6.6 Cálculo e evidências

O FTC é calculado conforme o Anexo F, a partir de scores (0–1) por componente e pesos (somando 1,00).

- $FTC = \Sigma (\text{peso}_k \times \text{score}_k)$.
- Cada componente deve ter evidências verificáveis (URIs, versões, hashes, relatórios, scripts, prints de QA flags), anexadas ao dossiê do ciclo.
- 6.6 Publicação e verificação
- Publicação: divulgar FTC (%) no Sumário Público do ciclo (metadados), junto com fontes/versões principais e data de corte.
- Verificação (VVB): checar cálculo do FTC, evidências e conformidade com o Anexo F e a GL-MS-012.
- Validação metodológica: a Greenline Carbonsat valida o pacote de dados, método e cálculo (incluindo o FTC) antes da publicação do ciclo no registro.
- Atualização: ajustes de pesos/limiares/fórmulas do FTC devem ser prospectivos, com data de corte, versão do anexo e hash arquivados.

Legenda de Siglas :

- *CAPA — Corrective and Preventive Action*
- *CO₂eT — Estoque de dióxido de carbono equivalente conservado*
- *FTC — Fator Técnico de Confiança*
- *Hash — Assinatura criptográfica de integridade (ex.: SHA-256)*
- *VVB — Validation and Verification Body*

7. Tratamento de incerteza e exclusões técnicas (pré-consolidação)

7.1 Objetivo

Definir quando e como tratar incertezas materiais e aplicar exclusões técnicas antes da consolidação do CO₂eT por polígono/ciclo, mantendo o princípio de não usar multiplicadores/descontos na fórmula. O resultado somente segue à consolidação após saneamento documentado.

7.2 Disparadores de tratamento (gatilhos)

Deve-se abrir tratamento quando ocorrer, isolada ou cumulativamente:

- a) Cobertura útil insuficiente pós-máscaras (ex.: nuvem/sombra/água) no polígono/ciclo;
- b) Inconsistência temporal (janelas não compatíveis com o período do ciclo/bioma);
- c) Inconsistência espacial/geométrica (desalinhamento entre datasets/polígono);
- d) Versões não homologadas (fora da lista positiva/GL-GR-010) ou metadados incompletos;
- e) Artefatos/erros de pré-processamento detectados em QA/QC;
- f) FTC (Seção 6) indicando confiança abaixo das metas internas (mesmo que \geq FTC_{min}).

7.3 Opções de saneamento (ordem de preferência)

1. Reprocessar com parâmetros/versões corretas (mesma fonte oficial);
2. Substituir dataset por versão homologada equivalente (**GL-GR-010**), registrando data de corte;
3. Interpolar temporalmente dentro da janela do ciclo (quando permitido **pelo GL-GR-010**);
4. Excluir tecnicamente pixels/células/setores irrecuperáveis, desde que:
 - o (i) documentada a causa; (ii) quantificada a área excluída; (iii) mantida a rastreabilidade;
 - o Nunca extrapolar ou imputar valores para compor lacunas.

7.4 Critérios objetivos para exclusão técnica

A exclusão é obrigatória quando:

- QA flags da fonte indicam qualidade inaceitável;
- A cobertura útil < limiar mínimo definido para o bioma (**GL-GR-010**);
- O alinhamento geométrico não atinge o erro máximo permitido;
- A janela temporal não atende ao ciclo e não há reprocesso possível.

7.5 Registro CAPA (Correção e Prevenção)

Para cada caso tratado, emitir CAPA contendo:

- Causa-raiz, ação corretiva (reprocesso/substituição/exclusão) e ação preventiva;
- Tabelas com % de área afetada, impactos esperados no FTC e referências (URI/hash);
- Responsável técnico, datas e verificação interna.

7.6 Saída do tratamento e encaminhamento

- Se saneado: seguir à consolidação (Seção 8).
- Se remanescem incertezas materiais: o polígono/ciclo segue “condicionado” para decisão de governança (GL-MS-002).
- O FTC é recalculado após o saneamento; se < FTC_min, enquadra-se como condicionado (Seção 6).

7.7 Documentos e evidências mínimos

- Relatório de QA/QC com prints/flags, métricas de cobertura útil e mapas de exclusão;
- Log de pré-processamento atualizado (parâmetros, versões, scripts, softwares);
- URIs e hashes de insumos, intermediários e saídas pós-tratamento;
- CAPA assinada pelo responsável técnico e checada pela Greenline Carbonsat.

7.8 Papéis e responsabilidades

- Proponente: executar saneamento, emitir CAPA, atualizar metadados e refazer o FTC;
- VVB: verificar se os critérios desta seção foram aplicados antes da consolidação;
- Greenline Carbonsat: validar conformidade metodológica do pacote de dados pós-tratamento e autorizar avanço à Seção 8.
- GLI: não se aplica (atua apenas em co-benefícios/**GL-MS-003**).

Legenda de Siglas :

- *CAPA — Corrective and Preventive Action*
- *CO₂eT — Estoque de CO₂ equivalente conservado*
- *FTC / FTC_min — Fator Técnico de Confiança / Limiar normativo mínimo*
- *GL-GR-010 — Guia de Referência de Dados da Greenline Carbonsat*
- *GLI — Greenline Institute*
- *QA/QC — Quality Assurance / Quality Control*
- *URI / Hash — Identificador de recurso / assinatura de integridade*
- *VVB — Validation and Verification Body*

8. Consolidação por ciclo e saídas numéricas

8.1 Objetivo

Definir como consolidar o resultado do CO₂eT por polígono e por ciclo (vintage), padronizando chaves de identificação, regras de arredondamento, reconciliação e serialização das saídas que alimentam o registro Greenline Carbonsat.

8.2 Entradas para consolidação (pós-Seção 7)

- Resultado do Cálculo por polígono P no ciclo t (após saneamento/QA-QC).
- FTC recalculado e vigente (Seção 6).
- Metadados mínimos consolidados (fontes/versões, período, parâmetros).
- Logs de CAPA (se houver) e evidências de exclusões técnicas.

8.3 Chaves e estrutura de dados (por polígono/ciclo)

Cada registro deve conter, no mínimo:

- Projeto-ID; Polígono-ID; Vintage; Série (incremental);
- CO₂eT (t) — valor numérico final do polígono no ciclo;
- FTC (%) — valor do ciclo (para o polígono);
- Classe de leakage (resultado do anexo de leakage desta metodologia);
- URIs dos artefatos (raster/shape/relatório); hashes correspondentes;
- Carimbo de versão (metodologia/anexos/GL-GR-010) e data de corte.

8.4 Regras de arredondamento e apresentação

- Nível polígono: armazenar com duas casas decimais; apresentar no registro em toneladas inteiras (arredondamento bancário).
- Nível projeto (soma de polígonos): apresentar em toneladas inteiras.
- Nunca arredondar antes das somas e reconciliações.

8.5 Reconciliação e consistência

Antes de fechar o ciclo:

- a) Somatório de polígonos = total do projeto (diferença máxima por arredondamento $\leq 0,5$ t por polígono).
- b) Verificação cruzada de versões (dados, parâmetros, scripts) vs. metadados declarados.
- c) Coerência temporal (todas as datas dentro do período do ciclo) e espacial (polígonos sem sobreposição).
- d) FTC: confirmar se atende ou não ao FTC_min (registrar status “elegível” ou “condicionado”).

8.6 Serialização e integridade

- Emitir Séries sequenciais por polígono/vintage: [Projeto]-[Polígono]-[Vintage]-[Série].
- Vincular hash ao Relatório de Cálculo e aos principais artefatos (rasters/shapes).
- Qualquer reprocesso gera nova Série, mantendo histórico (Séries anteriores permanecem arquivadas, não substituídas).

8.7 Saídas numéricas e arquivos obrigatórios

- Arquivo de consolidação (tabela) com um registro por polígono/ciclo e campos da 8.3.
- Relatório de Cálculo do Ciclo (PDF/planilha) com fórmulas, parâmetros, fontes/versões, data de corte e hash.
- Rasters AGB pós-máscaras e shapes dos polígonos/estratos (com URIs e hashes).
- Planilha/relatório do FTC (componentes, pesos, score final).
- Resumo do Leakage (classe por polígono/ciclo e evidências mínimas).

8.8 Encerramento do ciclo (pronto para VVB e registro)

A consolidação é considerada concluída quando:

1. Todos os polígonos do ciclo possuem o Resultado do Cálculo, FTC e classe de leakage;
2. Reconciliações da 8.5 estão OK;
3. Artefatos e metadados têm URI e hash;
4. Série e versão estão coerentes;
5. Dossiê atende ao conteúdo mínimo (Seção 9) e segue para VVB e validação metodológica pela Greenline Carbonsat.

8.9 Responsabilidades

- Proponente: compilar a tabela de consolidação, aplicar as regras de arredondamento, conferir reconciliações e gerar as Séries.
- VVB: verificar a integridade das saídas, reconciliações e a aderência às regras desta seção.
- Greenline Carbonsat: validar método, dados e conformidade da consolidação para autorização de publicação do ciclo.
- GLI: não aplicável (atua apenas em co-benefícios).

Legenda de Siglas :

- *CAPA — Corrective and Preventive Action*
- *CO₂eT — Estoque de CO₂ equivalente conservado*
- *FTC / FTC_{min} — Fator Técnico de Confiança / Limiar normativo mínimo*
- *Hash — Assinatura criptográfica de integridade*
- *ID — Identificador único*
- *URI — Uniform Resource Identifier*
- *VVB — Validation and Verification Body*
- *Vintage — Ciclo/ano de referência de emissão*

9. Pacote de Verificação (VVB)

O Pacote de Verificação é consumido diretamente pelos módulos **GL-MS-002** (decisão de emissão) e **GL-MS-005** (verificação independente). Todos os artefatos entregues ao VVB devem manter integridade de hash e versão conforme o **GL-GR-010**.

9.1 Objetivo

Definir o dossiê mínimo que permite a verificação independente (VVB) do cálculo do CO₂eT e a validação metodológica pela Greenline Carbonsat antes da publicação do ciclo no registro.

9.2 Composição do dossiê (por projeto/ciclo)

1. Relatório de Cálculo do Ciclo

- Descrição do pipeline aplicado (Seções 2–8) e fórmulas/parametrizações efetivas.
- Tabelas por polígono: Projeto–Polígono–Vintage–Série–CO₂eT–FTC–Leakage–Hash.
- Data de corte e regras de arredondamento.

2. Insumos e intermediários versionados

- Rasters AGB pós-máscaras; shapes de polígonos/estratos.
- Lista positiva de fontes/versões (conforme GL-GR-010), com URI e hash.
- Logs de pré-processamento (estratificação, máscaras, alinhamentos geométrico/temporal).

3. QA/QC (GL-MS-012)

- Checklist completo; métricas de cobertura útil e exclusões técnicas;
- Evidências de consistência temporal/espacial;
- CAPA (quando aplicável), com causa, correção e prevenção.

4. FTC — Fator Técnico de Confiança (Seção 6 / Anexo F)

- Planilha/código do cálculo, componentes/pesos, FTC (%) e confronto com FTC_min.

5. Leakage — Anexo de Leakage da GL-MC-004

- Diagnóstico, fronteiras de análise e classe (Verde/Amarelo/Vermelho), com evidências mínimas.

6. Elegibilidade jurídico-fundiária (GL-MS-007)

- Sumário por polígono das evidências de titularidade/licenças (sem documentos sensíveis), com referências internas.

7. Reprodutibilidade

- Scripts/notebooks, parâmetros e versões de bibliotecas; instruções de execução; URIs/hashs de entradas/saídas.

9.3 Critérios de aceite pelo VVB

- Coerência entre insumos → processamento → saídas;
- Aderência às Seções 2–8, à **GL-MS-012** (QA/QC) e ao **GL-GR-010** (fontes/versões);
- FTC calculado e \geq FTC_min (ou condicionado se $<$ FTC_min);
- Anexo de Leakage concluído (classe definida);
- Serialização e rastreabilidade (IDs, Séries, URIs/hashees) completas.

9.4 Fluxo e papéis

- Proponente: compila o dossiê, garante rastreabilidade e coerência.
- VVB: verifica conformidade metodológica e reprodutibilidade.
- Greenline Carbonsat: válida pacote de dados, métodos e aplicabilidade da metodologia e autoriza a publicação do ciclo no registro.

9.5 Evidências e formato

- Formatos aceitos: PDF (relatórios), CSV/Parquet (tabelas), GeoTIFF/COG (rasters), GeoPackage/GeoJSON (vetores).
- Toda evidência deve ter URI e hash; scripts/notebooks devem abrir e executar com versões declaradas.
- Itens confidenciais (ex.: documentos jurídicos) ficam referenciados, não anexados ao dossiê público.

Legenda de Siglas :

- *AGB — Above-Ground Biomass*
- *CAPA — Corrective and Preventive Action*
- *CO₂eT — Estoque de CO₂ equivalente conservado*
- *FTC / FTC_min — Fator Técnico de Confiança / Limiar mínimo*
- *GL-GR-010 — Guia de Referência de Dados da Greenline Carbonsat*
- *GL-MS-007 — Compliance jurídico para projetos de carbono*
- *GL-MS-012 — Dados/QA/QC*
- *Hash — Assinatura criptográfica de integridade*
- *ID / Série — Identificador único / número sequencial do ciclo*
- *URI — Uniform Resource Identifier*
- *VVB — Validation and Verification Body*

10. Metadados, Versionamento e Rastreabilidade

10.1 Objetivo

Padronizar quais metadados acompanham o cálculo do CO₂eT e como garantir unicidade, integridade e rastreabilidade dos artefatos do ciclo (dados, scripts, relatórios), assegurando reprodutibilidade e prevenção de dupla contagem.

10.2 Chaves e identificadores obrigatórios

Para cada polígono/ciclo, registrar no mínimo:

- Projeto-ID • Polígono-ID • Vintage (ano/ciclo) • Série (incremental).
- Carbonsat-ID do ciclo (registro).
- Metodologia: GL-MC-004 versão (p.ex., v3.0).
- Anexos vigentes: Anexo F (FTC) versão; Anexo Leakage versão.
- GL-GR-010 (Guia de Dados) versão aplicada.
- Status do polígono no ciclo: *elegível / condicionado* (conforme Seções 6–7).

*As chaves devem permanecer idênticas entre **GL-MS-002**, **GL-MS-005** e **GL-GR-010**, compondo o identificador universal [Projeto–Polígono–Vintage–Série–Hash]. Divergências de versão devem ser registradas no changelog do ciclo*

10.3 Metadados técnicos mínimos (por artefato)

Para cada raster, vetor, tabela, relatório, script:

- Título/Tipo (ex.: Raster AGB, Shape Polígonos, Tabela Consolidação, Relatório de Cálculo).
- Fonte/Produto/Versão (ex.: NASA GEDI vX; Sentinel-2 L2A vY; Landsat CZO).
- Período de observação (datas de aquisição).
- Parâmetros de processamento relevantes (máscaras, thresholds, projecção, resoluções).
- URI interna (repositório oficial) e hash de integridade (SHA-256).
- Responsável técnico, data/hora de geração e software/bibliotecas (com versões).
- Observação: metadados de QA/QC (checagens e CAPA) seguem a **GL-MS-012** e devem estar vinculados por URI/hash.

10.4 Regras de versionamento (prospectivas)

- Imutabilidade de Série: uma vez publicada, a Série de um polígono/ciclo não é alterada. Qualquer reprocesso gera nova Série (mantendo histórico).
- Atualização de fontes/métodos: mudanças em **GL-GR-010**, Anexo F (FTC), Anexo Leakage ou parametrizações valem apenas para ciclos futuros (data de corte documentada).
- Controle de alterações: todo update deve registrar o que mudou, por quê, data de corte, impacto esperado, URIs e hashes.

10.5 Logs e trilha de auditoria

- Changelog do ciclo: lista cronológica (timestamp) de eventos relevantes (import de dados, pré-processo, execuções, reprocessos, emissões de CAPA).
- Execução reproduzível: scripts/notebooks versionados; environment file (requirements/lockfile) com versões de bibliotecas.
- Vinculação cruzada: cada resultado aponta para entrada(s) e intermediários via URI/hash; cada artefato lista saídas que dele dependem.

10.6 Integridade e segurança

- Hash SHA-256 para todos os artefatos normativos.
- Armazenamento em repositório institucional com backup e controle de acesso (somente leitura para versões publicadas).
- Checks de integridade automáticos antes de publicação do ciclo.

10.7 Publicação e espelhamento

- O registro Greenline Carbonsat publica metadados e agregados (campos mínimos: 10.2 + CO₂eT, FTC (%), classe de leakage).
- Artefatos completos permanecem no repositório oficial; o registro espelha as URIs e hashes (sem duplicar arquivos).

10.8 Responsabilidades

- Proponente: manter metadados completos, gerar hashes, atualizar changelog e garantir a rastreabilidade ponta a ponta.
- VVB: auditar consistência dos metadados e a coerência entre artefatos–hashes–Séries.
- Greenline Carbonsat: validar conformidade metodológica do pacote (metadados/versões/logs) e autorizar a publicação no registro.

Legenda de Siglas :

- *CAPA — Corrective and Preventive Action*
- *CO₂eT — Estoque de CO₂ equivalente conservado*
- *FTC — Fator Técnico de Confiança*
- *GL-GR-010 — Guia de Referência de Dados da Greenline Carbonsat*
- *Hash (SHA-256) — Assinatura criptográfica de integridade*
- *ID / Série — Identificador único / número sequencial do ciclo*
- *URI — Uniform Resource Identifier*
- *VVB — Validation and Verification Body*
- *Vintage — Ciclo/ano de referência de emissão*

11. Publicação e Transparência

11.1 Objetivo

Definir o escopo de divulgação pública dos resultados da GL-MC-004, preservando a privacidade operacional dos proponentes e evitando over-claim, em linha com a GL-M-001 (Sumário Público no Carbonsat).

11.2 O que é público (Sumário Público – Carbonsat)

Para cada ciclo, serão publicados:

- Projeto-ID e Polígono-ID (anonimizados conforme política Carbonsat).
- Vintage e Série (incremental).
- CO₂eT consolidado por polígono (tCO₂e, arredondado em inteiros).
- FTC (%) do polígono/ciclo.
- Classe de leakage (Verde/Amarelo/Vermelho).
- Versões principais: metodologia (**GL-MC-004**), anexos (FTC/Leakage), **GL-GR-010**.
- Data de corte do ciclo e hash do relatório consolidado.

11.3 O que não é público (confidencial)

- Rasters, shapefiles, scripts e relatórios detalhados — permanecem em repositório institucional, acessíveis apenas a proponente, VVB e Greenline Carbonsat.
- Dados de elegibilidade jurídico-fundiária — tratados pela GL-MS-007; apenas status (apto / condicionado) pode ser publicado.
- Documentos de QA/QC e CAPA — permanecem restritos, mas com referência pública (URI/hash).

11.4 Regras de claims e uso de resultados

- O proponente pode usar apenas os números publicados no Carbonsat em comunicações externas.
- É vedado inferir equivalência com outros padrões (Verra, GS, ART, Cercarbono) salvo se houver credenciamento formal.
- Claims comerciais devem remeter ao link oficial do Carbonsat com Sumário Público.
- 11.5 Responsabilidades
- Proponente: garantir consistência entre o que é reportado ao Carbonsat e o que comunica externamente.
- VVB: atestar que os dados publicados refletem fielmente o dossiê verificado.
- Greenline Carbonsat: publicar e manter o Sumário Público atualizado, assegurando rastreabilidade e prevenção de dupla contagem.

Legenda de Siglas :

- *CAPA — Corrective and Preventive Action*
- *CO₂eT — Estoque de CO₂ equivalente conservado*
- *FTC — Fator Técnico de Confiança*
- *GL-GR-010 — Guia de Referência de Dados da Greenline Carbonsat*
- *URI — Uniform Resource Identifier*
- *VVB — Validation and Verification Body*

Anexo A — Fatores e Equações (normativo)

I. Escopo

Definir unidades, fatores e ordem de operações para conversão $AGB \rightarrow C \rightarrow CO_2e$ em projetos LULUCF de floresta preservada.

II. Requisitos normativos

1. **Unidades:** AGB em Mg/ha (t/ha); resultado em tCO₂e.
2. **Fração de carbono (CF):** aplicar valor normativo por bioma/estrato (Tier 1) conforme **Tabela A.1** da GL-MC-004; se houver Tier superior homologado no **GL-GR-010**, aplicar prospectivamente.
3. **Conversão C→CO₂:** fator estequiométrico 44/12.
4. **Ordem de operações:** $AGB \rightarrow C (=AGB \times CF) \rightarrow CO_2e (=C \times 44/12) \rightarrow$ máscara de elegibilidade \rightarrow agregação por polígono/ciclo.
5. **Arredondamento:** regras da Seção 5 e Seção 8.

III. Critérios de aceite

- Uso estrito da Tabela A.1 vigente.
- Coerência de unidades e agregações.
- Validação de que não há AGB negativa ou valores nulos.

IV. Entregáveis mínimos

- **Tabela A.1** (CF por bioma/estrato, versão e data de corte).
- Relatório consolidado com referências a CF e fator 44/12.

Tabela A.1 — Fração de carbono (CF) por bioma/estrato (valores normativos)
- Exemplo

Bioma / Estrato LULUCF	CF (fração)	Fonte / Tier	Observações normativas
Amazônia — Floresta densa	0,47	IPCC 2006, Vol.4, T1	Valor default até homologação Tier 2
Cerrado — Savana arbórea	0,47	IPCC 2006, Vol.4, T1	Valor padrão conservador
Outros biomas (LULUCF)	0,47	IPCC 2006, Vol.4, T1	Aplicar default até existir Tier específico

Nota normativa:

1. Todos os valores da Tabela A.1 são conservadores Tier 1 (IPCC 2006, Vol.4).
2. Quando houver valores Tier 2/3 ou regionais homologados no GL-GR-010, eles substituem prospectivamente o default (0,47).
3. Mudanças de CF não retroagem a ciclos anteriores; aplicam-se apenas a ciclos futuros, com registro de data de corte, URI e hash.
4. Todos os cálculos expressos em CO₂e assumem **GWP 100 anos** (AR5/IPCC). Outros gases de efeito estufa não são contabilizados nesta metodologia, salvo futura atualização.

Anexo B — Estratificação e Máscaras (diretriz)

I. Escopo

Definir classes de estratificação e máscaras obrigatórias a aplicar antes do cálculo.

II. Requisitos normativos

1. **Estratificação LULUCF:** adotar classes mínimas por bioma (ex.: floresta densa, aberta, secundária).
2. **Máscaras obrigatórias:** nuvem, sombra, água e não-floresta, obtidas de flags oficiais das fontes.
3. **Consistência:** aplicar em CRS uniforme e janela temporal do ciclo.
4. **Mudança de estrato:** somente com justificativa técnica versionada.

III. Critérios de aceite

- Máscaras aplicadas em 100% dos polígonos/ciclos.
- Estratificação sem sobreposição de classes.
- Registro das versões e datas de cada camada.

IV. Entregáveis mínimos

- Lista de classes LULUCF e seus códigos.
- Declaração de máscaras aplicadas com fonte/versão.

Anexo C — QA/QC (remissão à GL-MS-012)

I. Escopo

Consolidar a obrigatoriedade de aplicar GL-MS-012 como referência de qualidade de dados, sem duplicar detalhes.

II. Requisitos normativos

1. Aplicar integralmente os procedimentos da **GL-MS-012**.
2. Emitir CAPA em todo caso de incerteza material (conforme Seção 7).
3. Concluir QA/QC antes do cálculo final do FTC (Seção 6).

III. Critérios de aceite

- Evidência documental de que todas as não conformidades foram tratadas.
- Identificação da versão da **GL-MS-012** usada no ciclo.

IV. Entregáveis mínimos

- Declaração de conformidade com a **GL-MS-012**.
- Lista de CAPAs emitidas (com IDs e status).

Anexo D — Leakage (Gestão de Vazamento)

I. Escopo

Normatizar o resultado do leakage como insumo de governança, sem alterar o CO₂eT.

II. Requisitos normativos

1. **Fronteira de análise:** anel de influência de 10 km (padrão), ajustável com justificativa técnica versionada.
2. **Indicadores mínimos:**
 - Variação de cobertura florestal no anel (últimos 36 meses).
 - Hotspots de supressão em bases oficiais.
3. **Classificação final (por polígono/ciclo):** Verde / Amarelo / Vermelho, com limiares objetivos aprovados pela Greenline Carbonsat.

Classe	Critério objetivo	Efeito normativo
● Verde	Variação ≤ 0,5% da área florestal do anel	Projeto segue elegível
● Amarelo	Variação > 0,5% e ≤ 2%	Projeto marcado como “condicionado” no gate (GL-MS-002)
● Vermelho	Variação > 2%	Emissão suspensa até saneamento/mitigação

4. **Registro:** apenas a classe final é publicada no Sumário Público (Seção 11).

III. Critérios de aceite

- Existência de classe final por polígono/ciclo.
- Consistência entre fronteira, janela e indicadores usados.
- Registro da versão da diretriz de leakage aplicada.

IV. Entregáveis mínimos

- Tabela com classe de leakage por polígono/ciclo.
- Referência à versão do Anexo D utilizada.

Anexo E — Serialização e Registro

I. Escopo

Definir as chaves e campos obrigatórios para submissão ao registro Greenline Carbonsat.

II. Requisitos normativos

1. **Série única** por polígono/vintage: [Projeto]-[Polígono]-[Vintage]-[Série].
2. **Campos obrigatórios** (por polígono/ciclo):
 - Projeto-ID, Polígono-ID, Vintage, Série;
 - CO₂eT (t), FTC (%), Classe de leakage;
 - Versões aplicadas: GL-MC-004, Anexo F (FTC), Anexo D (Leakage), GL-GR-010;
 - URI e hash do Relatório de Cálculo consolidado; data de corte.
3. **Imutabilidade:** Séries publicadas não são alteradas; reprocesso gera nova Série.

III. Critérios de aceite

- Todos os campos obrigatórios completos e consistentes.
- Hash válido e reconciliado com o relatório.
- Somatórios por ciclo conferem com a Seção 8.

IV. Entregáveis mínimos

- Arquivo de submissão (CSV/JSON) conforme modelo do registro.
- Relatório com hash e URIs dos artefatos vinculados.

Anexo F — FTC (Fator Técnico de Confiança): fórmula, parâmetros e auditoria

I. Estrutura do índice e pesos

O FTC é uma **média ponderada** de componentes técnicos. Os **pesos** podem variar por bioma/estrato (**GL-GR-010**), desde que a soma seja **1,00** e as regras abaixo sejam respeitadas.

Componente (k)	Descrição	Peso padrão*
F1 Cobertura útil	% de área válida analisada após máscaras (nuvem/sombra/água)	0,30
F2 Exclusões técnicas	% de área excluída + tratamento CAPA (reprocesso/descartes)	0,20
F3 Consistência temporal	Janelas/periodicidade coerentes com bioma e ciclo	0,15
F4 Consistência espacial	Coerência geométrica entre datasets e polígonos	0,15
F5 Versões homologadas	Aderência às versões aceitas no GL-GR-010	0,10
F6 QA/QC documental	Evidências e reconciliações exigidas (GL-MS-012)	0,10
Total		1,00

* Os pesos padrão são a referência; ajustes por bioma/estrato devem ser aprovados e versionados no dossiê do ciclo (prospectivos).

* Alterações de pesos, faixas ou limiares do FTC têm efeito prospectivo, com registro de versão (vX.Y), hash, data de entrada em vigor e URI do dossiê

II. Cálculo do score por componente

Cada componente recebe um $score_k \in [0,1]$ conforme faixas objetivas.

Exemplo de regras (padrão):

F1 Cobertura útil (% área válida pós-máscaras)

- $\geq 90\% \rightarrow 1,00$
- $80 < 90\% \rightarrow 0,90$
- $70 < 80\% \rightarrow 0,75$
- $60 < 70\% \rightarrow 0,60$
- $< 60\% \rightarrow 0,30$

F2 Exclusões técnicas (% área excluída + CAPA)

- $\leq 5\%$ e CAPA não aplicável $\rightarrow 1,00$
- $5-10\%$ com CAPA concluída $\rightarrow 0,85$
- $10-20\%$ com CAPA concluída $\rightarrow 0,70$
- 20% (mesmo com CAPA) $\rightarrow 0,40$

F3 Consistência temporal (janelas/periodicidade)

- Período totalmente consistente por polígono/ciclo $\rightarrow 1,00$
- Pequena assimetria justificada (≤ 15 dias) $\rightarrow 0,85$
- Assimetria relevante justificada (> 15 e ≤ 45 dias) $\rightarrow 0,70$
- Assimetria não justificada $\rightarrow 0,40$

F4 Consistência espacial (coerência geométrica)

- Sem deslocamentos; RMS/ER controlado $\rightarrow 1,00$
- Pequenos ajustes com evidência $\rightarrow 0,85$
- Ajustes relevantes com evidência $\rightarrow 0,70$
- Falhas sem evidência $\rightarrow 0,40$

F5 Versões homologadas (GL-GR-010)

- 100% nas versões aceitas $\rightarrow 1,00$
- $\geq 90\%$ aceitas + residual justificado $\rightarrow 0,85$
- $70 < 90\%$ aceitas com justificativa $\rightarrow 0,70$
- $< 70\%$ aceitas $\rightarrow 0,40$

F6 QA/QC documental (GL-MS-012)

- Checklist completo + evidências/URIs/hashe → 1,00
- Pequenas lacunas sanadas → 0,85
- Lacunas relevantes sanadas → 0,70
- Lacunas sem saneamento → 0,40

III. Fórmula do FTC

$$\mathbf{FTC} = \sum_{k=1}^6 (\text{peso}_k \times \text{score}_k)$$

Relatar FTC em 0–1 e % (ex.: 0,86 → 86%). Guardar planilha/código e inputs no dossiê do ciclo (URIs + hashe).

IV. Limiar normativo e efeito de governança

- FTC_min (padrão): 0,80 (80%).
- Se $\text{FTC} < \text{FTC_min}$ → condicionado no pacote do ciclo e encaminhado ao gate (GL-MS-002) junto aos demais insumos (p.ex., classe de leakage).
- Programas/clientes podem requerer FTC_min mais alto (prospectivo, por contrato); registrar no dossiê.

V. Evidências e auditoria (mínimo)

- Métricas de F1–F6 documentadas (tabelas e prints).
- URIs e hashe de rasters, shapes, relatórios e scripts.
- Logs de CAPA (causa, correção, prevenção) quando aplicável.
- Registro da versão deste Anexo F e do **GL-GR-010** utilizado, com data de corte.

VI. F.6 Atualização controlada (prospectiva)

Quaisquer mudanças em **pesos, faixas, limiares ou cálculo** do FTC:

- Devem ser versionadas (Anexo F vX.Y), com data de corte e hash arquivados.
- Não retroagem a ciclos anteriores.
- Entram em vigor a partir do próximo ciclo após aprovação e publicação pela Greenline Carbonsat.

Legenda de Siglas :

-
- *CAPA — Corrective and Preventive Action*
 - *FTC_min — Limiar mínimo do FTC*
 - *Hash — Assinatura criptográfica de integridade*
 - *RMS/ER — Root Mean Square / Erro de Registro (geométrico)*
 - *URI — Uniform Resource Identifier*