

## PARTICIPAÇÃO DAS BRIÓFITAS NA REDUÇÃO DE GASES DO EFEITO ESTUFA

LETÍCIA MARIA DAMASCENO MAIA<sup>1</sup>  
MARCELA DE ANDRADE LUCAS<sup>2</sup>  
JANARA DE CAMARGO MATOS<sup>3</sup>

### RESUMO

Os gases do efeito estufa, como o CO<sub>2</sub>, que envolvem a Terra, concedem abertura à luz do sol e impedem que o calor volte ao espaço, criando uma espécie de estufa para o planeta. Quando em excesso, esses gases causam o aquecimento global e, conseqüentemente, as mudanças climáticas. Este artigo apresenta a colaboração dos musgos, da classe *Sphagnidae*, à minimização de gases do efeito estufa, por meio da absorção de CO<sub>2</sub>. Por meio de pesquisa bibliográfica e exploratória, verificou-se que uma das maneiras de minimizar o efeito estufa seria pela promoção do sequestro de carbono via atividade fotossintética das plantas, que executa a absorção e fixação do CO<sub>2</sub> e a liberação de O<sub>2</sub> na atmosfera. Uma empresa alemã, construiu uma “árvore” artificial, feita de musgos, que demonstrou eficácia na capacidade de armazenar partículas poluentes e de absorver CO<sub>2</sub>, sendo capaz de absorver, por ano, o equivalente à 275 árvores naturais. Conclui-se ser fundamental que novos estudos sobre metabolismo dos musgos sejam realizados para o melhor entendimento da sua atividade fotossintética, bem como estudos de engenharia para elaborar novos equipamentos eficientes de captura de CO<sub>2</sub> com uso de plantas.

**Palavras-chave:** Efeito estufa; Mudanças climáticas; Musgos.

### ABSTRACT

Greenhouse gases, such as CO<sub>2</sub>, that surround the Earth, provide sunlight and prevent heat from returning to space, creating a kind of greenhouse for the planet. When in excess, these gases cause global warming and, consequently, climate change. This article presents the collaboration of mosses, from the Sphagnidae class, in minimizing greenhouse gases, through the absorption of CO<sub>2</sub>. Through bibliographical and exploratory research, it was found that one of the ways to minimize the greenhouse effect would be by promoting carbon sequestration via the photosynthetic activity of plants, which absorbs and fixes CO<sub>2</sub> and releases O<sub>2</sub> into the atmosphere. A German company built an artificial “tree”, made from mosses, which demonstrated its effectiveness in storing polluting particles and absorbing CO<sub>2</sub>, being able to absorb, per year, the equivalent of 275 natural trees. It is concluded that it is essential that new studies on the metabolism of mosses are carried out

<sup>1</sup>Tecnóloga em Processos Químicos – Faculdade de Tecnologia da Praia Grande – Praia Grande-SP. – E-mail: leticia.maia@fatec.sp.gov.br

<sup>2</sup>Tecnóloga em Processos Químicos – Faculdade de Tecnologia da Praia Grande – Praia Grande-SP.

<sup>3</sup>Docente, Faculdade de Tecnologia da Praia Grande – Praia Grande-SP.

to better understand their photosynthetic activity, as well as engineering studies to develop new efficient equipment for capturing CO<sub>2</sub> using plants.

**Key words:** Greenhouse effect; Climate Changes; Mosses.

## INTRODUÇÃO

A poluição atmosférica é um problema global, real e constante, sendo um efeito, em sua maior parte, da ação humana. A OMS estima que a poluição do ar é responsável por cerca de 7 milhões de mortes prematuras por ano no mundo, devido à doença cardíaca isquêmica, acidente vascular cerebral, principalmente em países de baixa e média renda (WHO, 2023), além de atingir o trato respiratório, causando asma e bronquite, além de outras patologias associadas às variações das concentrações de poluentes do ar (BRAGA et al., 2001).

Além dos agravos diretos à saúde humana, alguns poluentes atmosféricos, como o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), são gases componentes do efeito estufa, o qual, em desequilíbrio, leva às mudanças climáticas drásticas com grandes consequências sociais.

Segundo o 6º Relatório de Avaliação do *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), a temperatura média global observada na superfície para a década 2006–2015 foi 0,87°C, mais alta que a média registrada no período 1850–1900. Caso a elevação continue, é provável que o aquecimento global atinja 1,5°C entre 2030 e 2052. Atingindo esta temperatura, haveria aumentos dos perigos climáticos e riscos aos ecossistemas e seres humanos (IPCC, 2022).

Portanto, se torna essencial pensar e planejar alternativas que possam melhorar as condições atmosféricas. Na Alemanha, foi desenvolvida a *CityTree*, uma árvore artificial feita de musgos, planejada com o intuito de diminuir a poluição do ar existente nas cidades, capaz de capturar e armazenar poluentes, entre micropartículas, dióxido de nitrogênio e gás carbônico (GREEN CITY, 2022).

Na Botânica, os musgos fazem parte da divisão *Bryophyta*, do reino Vegetal. Datando de registros fósseis da era Paleozoica, são os mais antigos dos grupos de

plantas existentes hoje que apareceram no decorrer da passagem da vida na água para a vida na terra, embora estas ainda necessitem de água para a reprodução, elas divergiram dentro de uma linhagem monofilética de plantas. Hoje, se encontram amplamente distribuídas pelo mundo, sendo muitas das espécies endêmicas (RAVEN et al., 1992).

Neste artigo, o musgo em estudo faz parte da classe *Sphagnidae* (musgos-de-turfeira), no qual o gênero principal é o *Sphagnum*. Possui grande importância ao meio ambiente devido a liberação de íons de H<sup>+</sup>, retenção da água e absorção do carbono. Este musgo ocupa cerca de 1% da superfície da Terra, sendo uma das plantas mais abundantes do mundo, desempenhando função importante no ciclo do carbono global, já que apresenta uma alta capacidade de acumulação de carbono (GOFFINET; SHAW, 2009).

O objetivo do artigo é apresentar a colaboração dos musgos, especificamente da classe *Sphagnidae*, à minimização de gases do efeito estufa, por meio da absorção de CO<sub>2</sub>.

## MATERIAL E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste estudo, utilizou-se a pesquisa bibliográfica, em livros, trabalhos acadêmicos e artigos científicos, em base de dados de acesso livre como Google Acadêmico e Scielo. Foram pesquisadas, separadamente, e em conjunto, as palavras-chave: efeito estufa, mudanças climáticas, musgos, fotossíntese, sequestro de carbono e absorção de CO<sub>2</sub>.

A pesquisa caracterizou-se como exploratória a qual, de acordo com Gil (2019), é desenvolvida no sentido de proporcionar uma visão geral acerca de determinado fato, procurando buscar “padrões, ideias ou hipóteses, em vez de testar ou confirmar uma hipótese”. Este tipo de pesquisa visa proporcionar uma maior familiaridade com o tema e ampliar informações sobre o tema discorrido, deixando-o mais explícito para os leitores.

A partir do material coletado nas buscas, procedeu-se à leitura e fichamento das informações, seguidas da análise do levantamento bibliográfico e obtenção das conclusões.

## REVISÃO DA LITERATURA

### As Briófitas

As briófitas são plantas, em sua maioria terrestres, muito pequenas atingindo no máximo 30 cm de altura e com a estrutura simples, são criptógamas e avasculares, ou seja, não possuem vasos condutores (RAVEN, 1992). A divisão das briófitas possui três grandes classes: antóceros, hepáticas e musgos, sendo o musgo o mais predominante em grande parte do mundo.

São plantas pioneiras na colonização de ambientes alterados e atuam no combate à erosão do solo e na manutenção da umidade dos ecossistemas, pois acumulam a água da chuva (PÓCS, 1982).

Os musgos vivem em ambientes úmidos e sombreados. Eles podem crescer sob diferentes substratos como o solo, rochas, troncos de árvores e até mesmo em paredes. Algumas espécies de musgos formam verdadeiros tapetes verdes, cobrindo grandes áreas. O corpo do musgo, chamado de talo, é composto por três partes: rizoides, caulóide e filóides (CLYMO; HAYWARD, 1982).

O gametófito é a fase sexuada do musgo, é ele quem produz os gametas. Os musgos são dióicos, ou seja, possuem tanto gametófitos femininos quanto gametófitos masculinos. Para que os gametas se encontrem é necessária a presença de água para reprodução, como todas as outras briófitas.

Segundo Gradstein e Churchill (2001), as briófitas são o segundo maior grupo de plantas terrestres, apresentando entre 15.000-18.000 espécies no mundo, divididas entre antóceros com cerca de 100, hepáticas com cerca de 5.000 e musgos com cerca de 13.000.

O Brasil é tido como o possuidor de uma das floras de briófitas mais ricas do mundo. Segundo Yano (2011), esta área possui 3125 espécies distribuídas em 450 gêneros e 110 famílias. A Mata Atlântica é o local mais favorável para o crescimento desta vegetação e o mais estudado.

Na classe *Sphagnidae*, espécies de *Sphagnum*, também conhecidas como musgos de turfeiras são encontradas, no Brasil, em áreas montanhosas, como a Serra do Itatiaia (RJ) e nos outros estados do sul e sudeste. Tem sido muito utilizado em campos drenados para a produção agrícola, em plantações de horticulturas e na conservação do solo, mostrando-se economicamente viável para a agricultura. Estes organismos possuem mecanismos para evitar e impedir que a escassez de água comprometa a sua viabilidade, tendo desenvolvido tolerância à dessecação, realizando fotossíntese apenas quando existe água disponível e suprindo o metabolismo em época de seca (YANO, 2011).

**Figura 1.** Musgo *Sphagnum*.



**Fonte:** SCHACHNER, (2022).

### **Absorção de CO<sub>2</sub> pelas plantas**

Na atmosfera, o carbono está ligado ao oxigênio em um gás chamado dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), ou gás carbônico, sendo ele o principal gás participante do efeito estufa.

O efeito estufa é necessário para a manutenção da vida na Terra. No entanto, as atividades humanas (como uso de combustíveis fósseis e queima da vegetação) têm liberado 35% mais CO<sub>2</sub> do que há 150 anos (CLYMO; HAYWARD, 1982), o que levou ao aumento da temperatura do planeta.

A concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera é aproximadamente 0,036%, mas as condições de luz e temperatura são bastante variáveis em habitats onde a fotossíntese ocorre. A temperatura da folha varia desde abaixo de 0 °C, no Ártico, até 50 °C nos desertos mais quentes (KLUGE; TEZOTTO-ULIANA; SILVA, 2015).

As plantas utilizam o CO<sub>2</sub> atmosférico para fixação de carbono através da fotossíntese, de forma que alterações na concentração desse gás poderá interferir no desenvolvimento e metabolismo dos vegetais. Essas alterações no metabolismo das plantas podem ainda variar de acordo com a espécie. Plantas com metabolismo C3 tendem a apresentar maior estímulo fotossintético com o aumento da concentração de CO<sub>2</sub> em comparação às espécies C4 (KLUGE; TEZOTTO-ULIANA; SILVA, 2015).

A fotossíntese, feita por plantas, algas (como os fitoplânctons) e algumas bactérias, é a síntese de compostos orgânicos (CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub>, ou seja, açúcares, a partir de compostos orgânicos simples (CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O) na presença de luz.

Nas plantas, a fotossíntese ocorre nos cloroplastos que possuem pigmentos fotossintetizantes, clorofila, carotenóides e xantofilas, onde através da absorção da luz solar esses pigmentos são estimulados à excitação, que ocasionará o transporte de elétrons havendo várias reações de oxirredução, através de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O até serem sintetizados em um carboidrato, C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub>, a glicose e O<sub>2</sub>, como explica Raven (1992).

Na fotossíntese, os átomos de carbono, na forma de  $\text{CO}_2$ , são removidos da atmosfera e incorporados nos tecidos vivos dos organismos que realizam o processo, sendo esse processo a porta de entrada do carbono atmosférico nos ecossistemas terrestres ou aquáticos. O hidrogênio, vindo da fragmentação da água, transforma o carbono inorgânico contido no  $\text{CO}_2$  em material orgânico (DIAS-FILHO, 2006).

Praticamente todas as formas de vida na Terra dependem do carboidrato glicose, e outros derivados dele, para produzir ATP (Adenosina Trifosfato), a energia química essencial para o crescimento e a reprodução. Isto é feito pelo processo da respiração, no qual os carboidratos, são metabolizados gerando novamente  $\text{CO}_2$ , que retorna à atmosfera.

A fotossíntese é um componente fundamental do ciclo global do carbono. Por intermédio da fotossíntese, as plantas terrestres absorvem, anualmente, cerca de 52 bilhões de toneladas de carbono. Os fitoplânctons absorvem cerca de 45 bilhões de toneladas de carbono por ano (FALKOWSKI, 2002).

### **A fase fotoquímica da fotossíntese e a fixação de carbono**

Na fotossíntese, as células possuem pigmentos especializados na captação da luz, chamados clorofilas. Nesse processo, a luz solar oxida a água, produzindo  $\text{O}_2$ , e reduz o  $\text{CO}_2$ , produzindo compostos orgânicos, principalmente açúcares (KLUGE; TEZOTTO-ULIANA; SILVA, 2015).

Segundo os mesmos autores, a energia da luz é captada, no cloroplasto, por duas unidades funcionais chamadas de fotossistemas. Essa energia é absorvida e utilizada para transferir elétrons pelos compostos que desempenham um papel de doadores e receptores de elétrons, e também gera uma força motiva de prótons pela membrana tilacóide, que é utilizada para a síntese de ATP. Os elétrons, em sua maioria, reduzem o  $\text{NADP}^+$  em  $\text{NADPH}$ .

Nos cloroplastos, ocorrem dois estágios: primeiro, nas membranas internas do cloroplasto (as tilacóides), ocorrem as reações de luz ou reações luminosas, onde

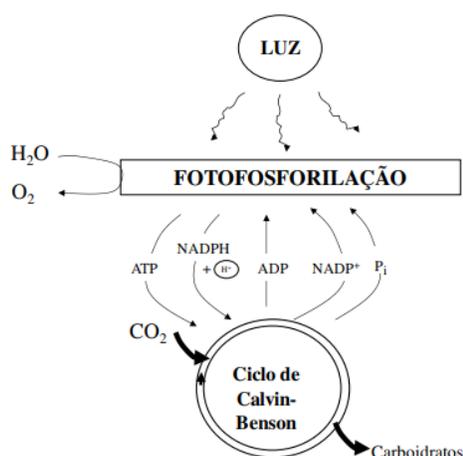
a luz, que tem comprimentos de ondas específicos, é capturada e convertida em energia química; segundo, ocorre a fixação de  $\text{CO}_2$ , na matriz fluida do cloroplasto (estroma), onde este  $\text{CO}_2$  é fixado e reduzido, a fim de produzir compostos orgânicos (principalmente os açúcares) (DIAS-FILHO, 2006).

A conversão da energia luminosa em energia química, que é a conversão da luz em ATP, é chamada de fase fotoquímica da fotossíntese, e ela é dividida em vários estágios.

Após a absorção da luz, ocorre o transporte cíclico de elétrons, em que esses com alta energia são enviados pelo centro de reação. Essa etapa acontece nas bactérias fotossintéticas, onde uma força motiva de prótons transmembrana (FMP) é gerada e está ligada à síntese de ATP (KLUGE; TEZOTTO-ULIANA; SILVA, 2015).

A fotossíntese é um processo no qual a energia luminosa, absorvida pela clorofila, dá início ao transporte de elétrons, onde ocorre a conversão de energia luminosa em energia elétrica e por sua vez, gera a energia química acumulada nas moléculas de ATP e NADPH. Essas moléculas são utilizadas na assimilação do carbono (fase escura), ligando o  $\text{CO}_2$  a um aceptor, ocorrendo a redução do  $\text{CH}_2\text{O}$  (carboidrato) (figura 2).

**Figura 2.** Esquema da fase fotoquímica e o ciclo de Calvin-Benson.



**Fonte:** KLUGE; TEZOTTO-ULIANA; SILVA, (2015).

Há três tipos de assimilação fotossintética de CO<sub>2</sub> pelas plantas clorofiladas, classificadas em plantas C3, C4 e CAM (KLUGE; TEZOTTO-ULIANA; SILVA, 2015).

As plantas C3 não possuem adaptações fotossintéticas para reduzir a fotorrespiração (processo onde a rubisco captura O<sub>2</sub> ao invés de CO<sub>2</sub>). Na primeira etapa do ciclo de Calvin ocorre a fixação do CO<sub>2</sub> pela rubisco, enzima fixadora de carbono do Ciclo de Calvin mais abundante das plantas chamada de ribulose-1,5-bisfosfato carboxilase oxigenase, e as plantas C3 utilizam apenas este mecanismo de fixação do carbono padrão (BEAR et al., 2019).

As plantas C4, também atuam na minimização da fotorrespiração, realizam as reações dependentes da luz, nas células do mesófilo, separadamente do Ciclo de Calvin, que ocorre ao final das reações quando o CO<sub>2</sub> é fixado pela rubisco, transformando-os em açúcares (BEAR et al., 2019).

As plantas CAM são plantas suculentas de deserto ou habitats secos que apresentam fotossíntese de forma diferente das plantas C3 e C4. Realizam o metabolismo ácido crassuláceo para reduzir a fotorrespiração, ao invés de acontecer a separação das reações dependentes da luz e o Ciclo de Calvin, como nas C4, as plantas CAM separam por período de tempo. À noite, abrem seus estômatos e fixam o CO<sub>2</sub> sendo convertido em um tipo de ácido orgânico. Na luz do dia, não abrem os estômatos, mas ainda fazem fotossíntese, e os ácidos são transportados e quebrados para liberar CO<sub>2</sub> e entrar no Ciclo de Calvin (BEAR et al., 2019).

Um dos fatores que limitam a fotossíntese em plantas C3, está nas concentrações de CO<sub>2</sub>. Portanto, as plantas que utilizam esta via metabólica apresentam melhores resultados em seu crescimento quando há incremento deste gás no ambiente.

### **CityTree, a árvore artificial**

Uma empresa alemã, a *Green City Solutions*, criou uma espécie de “árvore” construída a partir de um painel de metal e plástico e musgos acoplados, como mostra a figura 3. Esse equipamento, segundo a empresa, filtra o ar devolvendo-o visivelmente limpo, removendo 82% da poeira fina, com uso dos musgos e de tecnologia como IoT (*Internet of things*).

**Figura 3.** CityTree.



**Fonte:** Green City (2022).

A “árvore” CityTree é no formato de um painel vertical com musgos, que de acordo com seus criadores, tem a capacidade de absorver a mesma quantidade de dióxido de nitrogênio e material particulado do ar que uma pequena floresta, ou seja, 275 árvores naturais.

O equipamento é conectado via tecnologia, que permite uma fácil configuração. Ela realiza a autoirrigação, no qual um tanque interno que libera água de tempos em tempos (DESIGN CULTURE, 2019).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O principal gás causador do efeito estufa é o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e seu nível atmosférico está relacionado à fotossíntese, a qual é a responsável pela manutenção e sequestro de carbono.

O efeito estufa é um fenômeno que auxilia na manutenção da temperatura do planeta de forma adequada para os seres vivos. Os gases do efeito estufa dão uma

abertura à luz do sol para que atravesse a atmosfera e impedem que o calor saia para o espaço, fazendo com que se transforme em uma estufa. Portanto, quanto maior a concentração desses gases, maior o aquecimento, e esse aumento se dá pelas atividades humanas que liberam mais CO<sub>2</sub> do que há séculos atrás.

As mudanças climáticas são transformações ao longo do tempo nos padrões de temperatura e clima, as quais podem ser naturais, por meio de variações no ciclo solar, ou por atividades humanas (antropogênicas), principalmente devido à queima de combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás, atividades industriais, queimadas, desmatamentos, expansão agrícola, entre outros, que ocasionam no aumento da emissão de gases do efeito estufa. Como consequência desses processos, ocorre o derretimento de camadas polares, secas, enchentes, tempestades, tornados, maremotos, e tudo isso pode afetar os ecossistemas, causando a extinção de plantas e animais.

As influências do homem no equilíbrio natural do planeta atingiram magnitudes sem precedentes. Se as tendências de crescimento das emissões se mantiverem, os modelos climáticos indicam que poderá ocorrer aquecimento até acima de 6°C em algumas regiões do globo até o final do século XXI. É provável que a temperatura média global durante o século XXI aumente entre 2,0°C a 4,5°C, com uma melhor estimativa de cerca de 3,0°C, e é muito improvável que seja inferior a 1,5°C (NOBRE; SAMPAIO; SALAZAR, 2007).

Como discutido, as árvores têm alto poder de absorção de CO<sub>2</sub>, portanto a promoção do sequestro de carbono é de suma importância, pois quanto maior o número de árvores reflorestadas, maior é a fixação de carbono, incentivando as atividades fotossintéticas da vegetação, a preservação e o plantio de florestas e a recuperação de áreas degradadas pelas queimadas e desmatamento.

O sequestro de carbono somente ocorre quando as árvores e florestas estão crescendo, todavia, como visto durante a pesquisa, os musgos também têm alta fixação de CO<sub>2</sub> e se adequam melhor ao ambiente inserido. Sendo assim, seu uso poderia ser mais explorado por conta de sua simplicidade em relação às árvores,

como por exemplo, em forma de plantações em grande escala feita em casas, em lugares públicos, jardins e jardineiras, para auxiliar na diminuição do efeito estufa por meio da fotossíntese.

Como um exemplo de projeto utilizando os musgos para minimizar a emissão de poluentes, um projeto alemão visou melhorar a qualidade de vida das pessoas, pela diminuição da poluição do ar. A *Green City Solutions*, empresa fundada em 2014 em Dresden, Alemanha, criou um painel de musgo, o *CityTree*, ele funciona como filtro, limpando o ar em tempo real. O painel tem custo aproximado de R\$ 90 mil por década, ao passo que plantar e manter uma árvore natural custaria cerca de R\$ 3 mil. Porém, o investimento na *CityTree* se justifica pelo retorno ambiental, bem como por ter tecnologia integrada que monitora seu estado e desempenho, o que permite a “boa saúde” por um longo tempo. Um tanque embutido leva água e nutrientes para o musgo por um sistema independente e automatizado, com configuração digital via IoT. Além das partes metálicas e plásticas serem compostas, em sua maioria, por materiais recicláveis de longa durabilidade. Esta “árvore” compreende basicamente em um grande painel vertical: uma parede de musgos que, de acordo com seus criadores, tem a capacidade de absorver a mesma quantidade de dióxido de nitrogênio e partículas microscópicas do ar. Segundo a *Green City Solutions* a *CityTree* pode absorver 250 gramas de partículas por dia e armazena 240 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> por ano, ou seja, 275 árvores naturais (GREEN CITY, 2022).

Um estudo recente de Eldridge et al. (2023), contou com a participação de 50 cientistas de várias nacionalidades, que obtiveram amostras em diferentes países, comparando solos com e sem revestimento de musgos. Constataram 24 tipos diferentes de contribuições que os musgos trazem ao solo e às outras plantas. Uma das principais contribuições do estudo sobre a importância dos musgos, está ligada à participação desses seres na absorção de carbono, e diminuição da concentração do CO<sub>2</sub>, devido ao processo de fotossíntese.

Solos cobertos por musgos absorvem da atmosfera anualmente 6,43 bilhões de toneladas de carbono a mais do que ambientes terrestres não revestidos por esse tipo de vegetação. O valor, calculado pelo estudo, equivale a mais de seis anos de todas as emissões globais de carbono associadas a mudanças no uso da terra, como a transformação de trechos de florestas em áreas agrícolas ou de pastagens (ELDRIDGE et al., 2023).

## CONCLUSÃO

Este estudo evidenciou a intensificação do efeito estufa e as mudanças climáticas como problemas atuais globais, assim como foram identificadas algumas alternativas para minimização destes problemas como o uso de musgos, que por meio da fotossíntese, absorvem CO<sub>2</sub> do ar, reduzindo a concentração desse gás e consequentemente a minimização de seus efeitos na temperatura terrestre.

Entretanto, constatou-se certa escassez de literatura recente a respeito do metabolismo e bioquímica dos musgos, para o perfeito entendimento da absorção de CO<sub>2</sub> versus a área de plantio necessária, para um sequestro de carbono significativo.

Por fim, ressalta-se a iniciativa alemã, das *CityTrees*, painéis verticais de 3,5 m<sup>2</sup> que são paredes de musgos. Estes painéis foram criados, testados, e implantados, por uma empresa privada da Alemanha, com resultados positivos nas cidades Londres, Bruxelas, Oslo, Glasgow, Hong Kong e algumas cidades alemãs. Cada painel tem a capacidade de absorver 250 gramas de partículas por dia e armazenar 240 toneladas métricas de CO<sub>2</sub> por ano.

Estudo recente, de 2023, sobre a importância dos musgos, enfatizou sua participação na captura do carbono na atmosfera, e consequentemente, na diminuição do aquecimento global. Assim, constata-se ser fundamental que novos estudos de biologia sejam realizados para o melhor entendimento do metabolismo

e fisiologia dos musgos, assim como novos estudos de engenharia para a criação de novos equipamentos eficientes de captura de CO<sub>2</sub> com uso de plantas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEAR, R.; RINTOUL, D.; SNYDER, B.; SMITH\_CALDAS, M.; HERREN, C.; HORNE, E. **Principles of Biology**. OpenStax CNX. 19 de nov. de 2019. Disponível em: <https://cnx.org/contents/24nl-KJ8@27.4:0LbfPSK3@10/Photosynthetic-Pathways>. Acesso em: 02 maio 2022.

BRAGA, A.; BÖHM, G. M.; PEREIRA, L. A. A.; SALDIVA, P. Poluição atmosférica e saúde humana. **Revista USP**, n. 51, pág. 58-71, 2001. Disponível em: [10.11606/issn.2316-9036.v0i51p58-71](https://doi.org/10.11606/issn.2316-9036.v0i51p58-71). Acesso em: 24 abr. 2022.

CLYMO, R. S.; HAYWARD, P. M. The ecology of Sphagnum. *In*: AJE Smith (Ed.). **Bryophyte Ecology**, p. 229-289, 1982.

DIAS-FILHO, M. B. **A fotossíntese e o aquecimento global**. Documentos 234. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2006. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/387686/1/OrientalDoc234.pdf>. Acesso em: 01 ago. 2023.

DESIGN CULTURE. **CityTree: a “árvore” hightech que limpa o ar**. 16 maio 2019. Disponível em: <https://designculture.com.br/citytree-a-arvore-hightech-que-limpa-o-ar/>. Acesso em: 20 set. 2023.

ELDRIDGE, D. J. et al. The global contribution of soil mosses to ecosystem services. **Nature Geosciences**. v. 16 mai. 2023. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41561-023-01170-x>. Acesso em: 01 ago. 2023.

FALKOWSKI, P. G. The ocean's invisible forest. **Scientific American**, Aug. 2002. v. 287, n. 2, p. 54-61, 2002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12140954/>. Acesso em: 19 abr. 2022.

GIL, A. C. **Métodos e Técnicas de Pesquisa Social**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2019.

GOFFINET, B.; SHAW, A. J. **Bryophyte Biology** 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2009.

GRADSTEIN, S.R.; Churchill, S. P.; Salazar-Allen. Guide to the Bryophytes of Tropical America. **Memoirs of the New York Botanical Garden** v. 87. p 1-301. 2001.

GREEN CITY Solutions. **The CityTree**. Disponível em: <https://greencitysolutions.de/en/citytree/>. Acesso em: 22 ago. 2022.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/sixth-assessment-report-working-group-ii/>. Acesso em: 11 nov. 2022.

KLUGE, R. A.; TEZOTTO-ULIANA, J. V.; SILVA, P. P. M. Aspectos fisiológicos e ambientais da fotossíntese. **Revista virtual de química**, v. 7, n. 1, p. 56-73, 2015. Disponível em: <https://rvq-sub.sbq.org.br/index.php/rvq/article/view/996>. Acesso em: 23 ago. 2022.

NOBRE, C. A.; SAMPAIO, G.; SALAZAR, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Cienc. Cult.**, São Paulo, v. 59, n. 3, p. 22-27, Sept. 2007. Available from <[http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0009-67252007000300012&lng=en&nrm=iso](http://cienciaecultura.bvs.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0009-67252007000300012&lng=en&nrm=iso)>. Acesso em: 25 set. 2023.

PÓCS, T. Tropical Forest Bryophytes. *In*: SMITH, A. J. E. (ed.). **Bryophyte Ecology**. 1982.

RAVEN, H.; EVERET, R.; EICHHORN, S. **Biologia Vegetal**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1992. 727p.

SAGE, R. F.; KUBIEN, D. S. The temperature response of C3 and C4 photosynthesis. **Plant, Cell & Environment**, v. 30, n. 9, p. 1086-1106, 2007.

SCHACHNER, H. **Sphagnum – beautiful, mysterious and very soggy**. Disponível em: <https://2bogsaswampandsomeislands.wordpress.com/2022/10/03/sphagnum-beautiful-mysterious-and-very-soggy/>. Acesso em: 10 set. 2023.

WHO. **Air pollution: The invisible health threat. WHO trains health workers to battle air pollution and protect global health (2023)**. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/feature-stories/detail/air-pollution--the-invisible-health-threat>. Acesso em 29/07/2023.

YANO, O. **Catálogo de Musgos brasileiros**. São Paulo: Instituto de Botânica, 2011.

YU, C. M. **Sequestro florestal de carbono no Brasil: dimensões políticas, socioeconômicas e ecológicas**. São Paulo: Annablume, 2004.