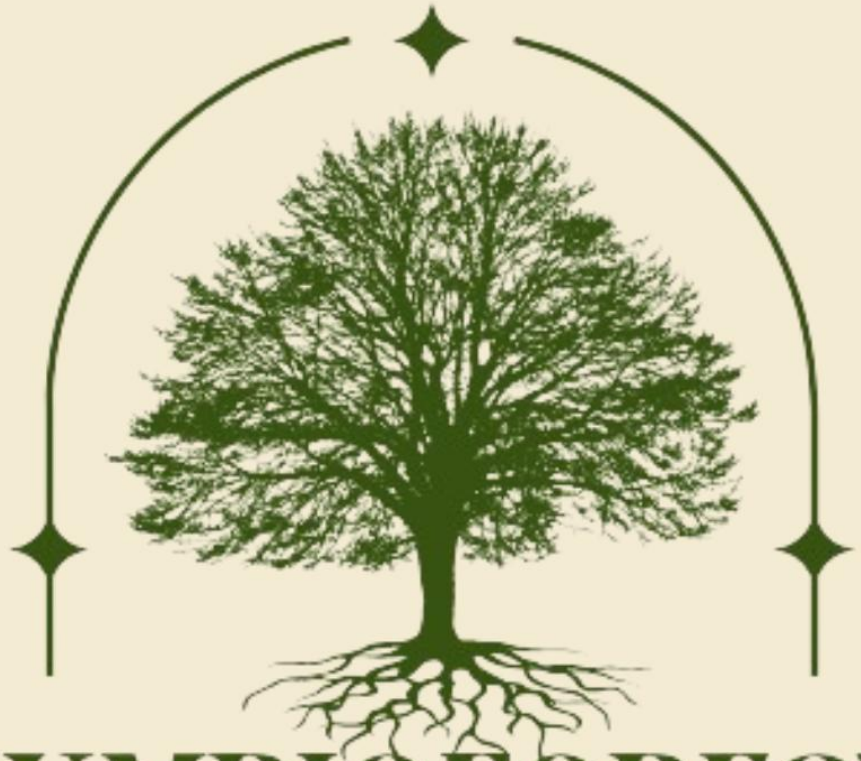
Inês Fonseca Inês Barbosa Maria Martins



SYMBIOFOREST

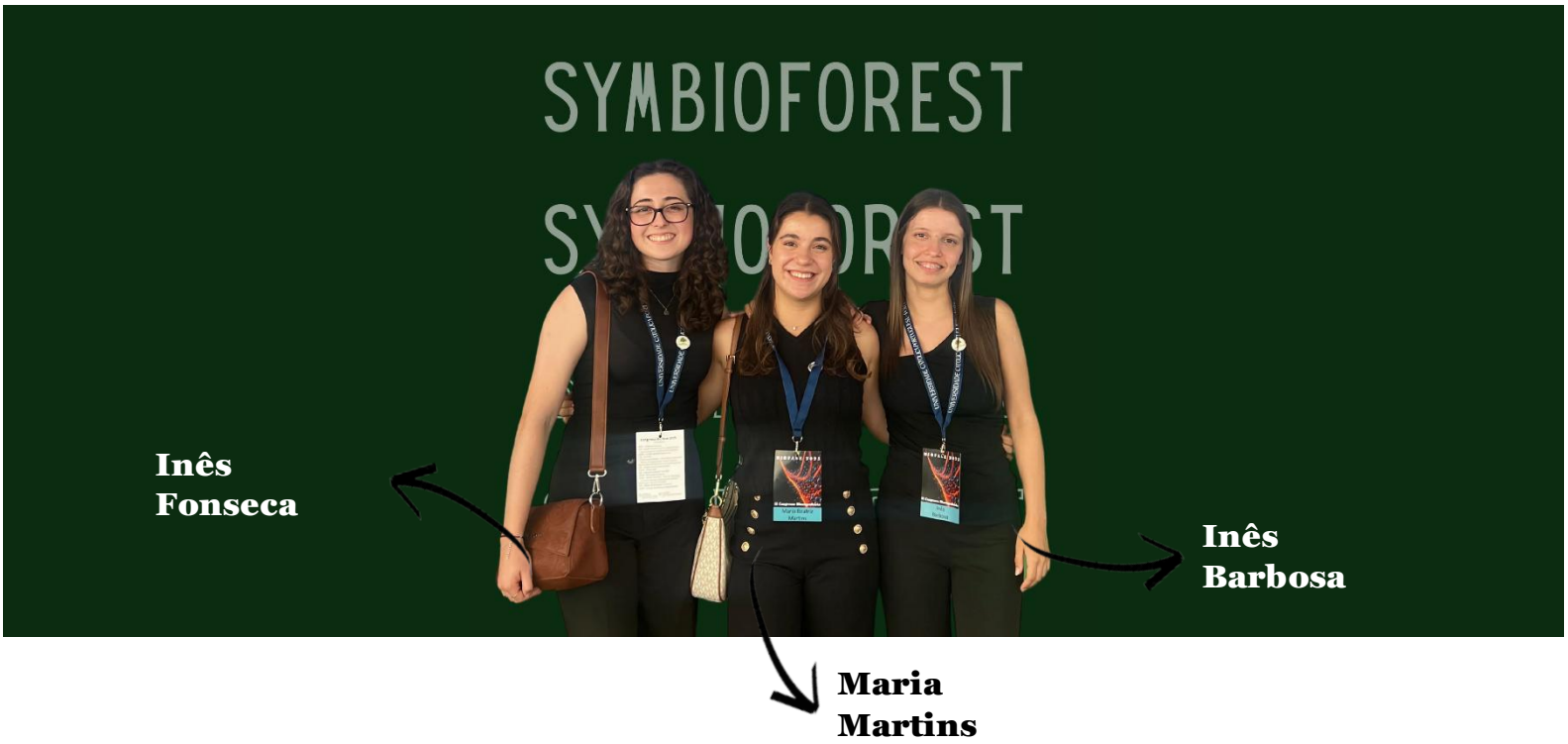
FUNGI WILL CONNECT, TREES WILL REBORN

jardim botânico do porto mhnc u.porto

ICNF Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas

U.PORTO FACULDADE DE CIÊNCIAS UNIVERSIDADE DO PORTO

1.Equipa



O projeto SymbioForest é composto por três alunas da Escola Secundária da Maia, da turma 12ºA.

Inês Fonseca, 18 anos**,** e encarregue do estabelecimento de parcerias; organização e gestão do projeto e da pesquisa científica; responsável pela condução dos experimentos e pelas tarefas necessárias; ajudante no marketing digital.

Inês Barbosa,18 anos, e encarregada da organização e gestão do projeto, da pesquisa científica e do estabelecimento de parcerias; responsável pela condução dos experimentos e pelas tarefas necessárias.

Maria Martins,17 anos, autora e líder do conteúdo online do projeto, do marketing digital, estabelecimento de parcerias, organização e gestão do projeto e pesquisa científica; responsável pela condução dos experimentos e pelas tarefas necessárias.

2.Contactos

Grupo: symbioforest@gmail.com

Escola:: geral@aemaia.com

Contactos telefónicos: +351 965848873- Beatriz

22 947 8480- Escola Secundária da Maia

3.Introdução

A desflorestação é um fenómeno ambiental de proporções alarmantes que consiste na conversão de áreas florestais em terrenos para outros usos, como a agricultura, a pecuária, a exploração mineira ou o desenvolvimento urbano. Embora tenha ocorrido ao longo da história da humanidade, nas últimas décadas, o ritmo da desflorestação intensificou-se de forma dramática, sobretudo nas regiões tropicais, colocando em risco a estabilidade ecológica do planeta. Este processo é impulsionado, essencialmente, por atividades humanas que visam a obtenção imediata de recursos naturais e a expansão de fronteiras económicas, frequentemente em detrimento da sustentabilidade ambiental (FAO, 2020).

Uma das principais causas da desflorestação é a expansão agrícola, especialmente nas regiões da América do Sul, África Central e Sudeste Asiático. Culturas de larga escala, como a soja e o óleo de palma, bem como a criação extensiva de gado, são responsáveis por vastas áreas de desflorestação (Gibbs et al., 2010). O corte de árvores para exploração madeireira, muitas vezes ilegal ou desregulada, contribui significativamente para a degradação florestal, servindo frequentemente como etapa preliminar para a destruição completa do ecossistema (Lawson, 2014). Além disso, projetos de mineração e a construção de infraestruturas – como estradas e barragens – têm desempenhado um papel crescente na eliminação de coberturas florestais (Laurance et al., 2009).

As consequências ecológicas da desflorestação são profundas e multifacetadas. Um dos impactos mais significativos é a perda de biodiversidade. As florestas tropicais abrigam uma elevada concentração de espécies vegetais e animais, muitas das quais endémicas. A destruição do seu habitat natural leva inexoravelmente à extinção de espécies e à redução da variabilidade genética, comprometendo a resiliência dos ecossistemas (Dirzo et al., 2014). Este empobrecimento biológico não afeta apenas a fauna e flora locais, mas também os serviços ecossistémicos que sustentam a vida humana, como a polinização, a purificação da água e o controlo biológico de pragas (MEA, 2005).

No plano climático, a desflorestação representa uma das principais fontes de emissões de gases com efeito de estufa. As florestas atuam como importantes sumidouros de carbono, sequestrando dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera através da fotossíntese. Quando uma floresta é destruída, não só cessa esse processo de absorção, como ocorre a libertação do carbono armazenado na biomassa e no solo, contribuindo de forma significativa para o aquecimento global. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2022), a desflorestação é responsável por aproximadamente 10% das emissões globais de gases com efeito de estufa.

Dados recentes reforçam a urgência deste problema. Segundo o laboratório GLAD da Universidade de Maryland, divulgados pela plataforma *Global Forest Watch* do World Resources Institute (WRI), em 2024 as florestas primárias

tropicais desapareceram a uma taxa de aproximadamente 18 campos de futebol por minuto — quase o dobro do registado em 2023. Esta perda alarmante provocou a emissão de cerca de 3,1 gigatoneladas (Gt) de CO_2, valor superior às emissões anuais provenientes da queima de combustíveis fósseis na Índia. Pela primeira vez em mais de duas décadas de monitorização, os incêndios florestais tornaram-se a principal causa da perda de florestas tropicais primárias, agravados por fatores humanos e condições climáticas extremas associadas ao fenómeno El Niño. Países como a Bolívia e o Brasil sofreram perdas sem precedentes, comprometendo não só a biodiversidade, mas também a função essencial dessas florestas na regulação climática global.

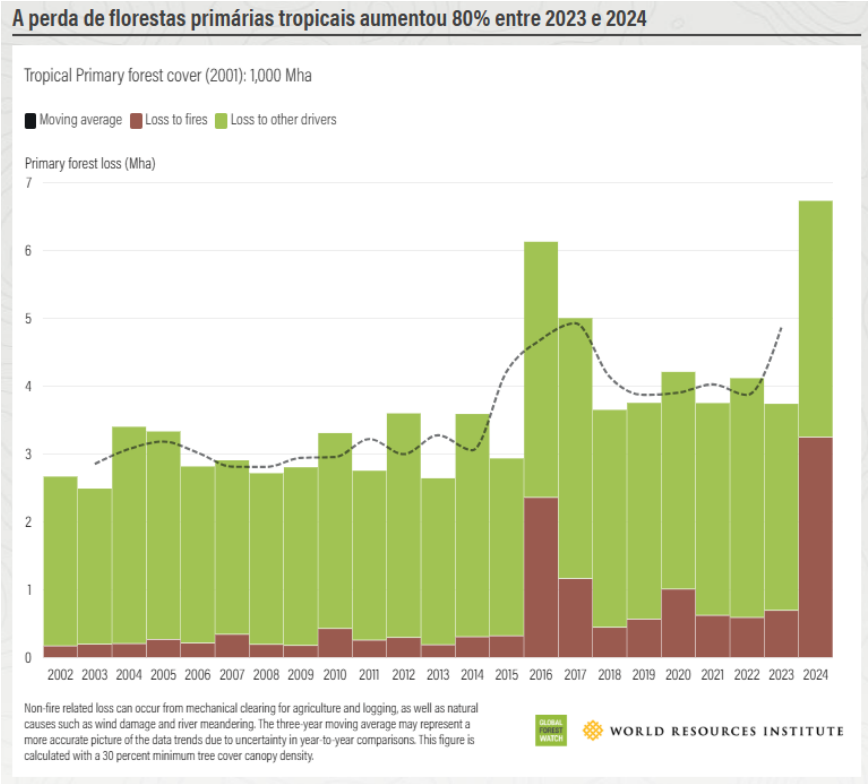


Figura 1. Principais razões da perda de florestas primárias tropicais entre 2002 e 2024

Outro impacto importante está relacionado com a degradação dos solos. A remoção da cobertura vegetal deixa o solo exposto à erosão pela água e pelo vento, promovendo a perda de nutrientes e a desertificação (Pimentel et al., 1995). Este processo afeta negativamente a produtividade agrícola e ameaça a segurança alimentar de milhões de pessoas. Além disso, a alteração do ciclo hidrológico resultante da desflorestação – devido à redução da transpiração vegetal e da infiltração da água no solo – pode levar a mudanças nos padrões de precipitação, aumentando a frequência de secas prolongadas ou inundações catastróficas (Ellison et al., 2017).

As consequências sociais da desflorestação são igualmente alarmantes. Milhões de pessoas em todo o mundo, especialmente comunidades indígenas e tradicionais, dependem diretamente das florestas para a sua sobrevivência,

identidade cultural e espiritualidade. A destruição dos seus territórios acarreta o deslocamento forçado, a perda de modos de vida sustentáveis e o desaparecimento de saberes ancestrais que, ao longo de gerações, contribuíram para a gestão equilibrada dos recursos naturais (UNDRIP, 2007).

Em suma, a desflorestação é um desafio complexo e urgente, que exige uma resposta multidisciplinar e coordenada entre governos, setor privado, comunidades locais e cidadãos. Proteger as florestas não é apenas uma questão de conservação ambiental – é uma condição essencial para garantir o equilíbrio climático, a integridade dos ecossistemas e o bem-estar das futuras gerações.

Deste modo, o projeto SymbioForest surge como resposta a este problema exuberante e colossal. Apresentamos uma solução inovadora baseada na simbiose entre fungos micorrízicos e árvores como as espécies *Quercus robur, L.* e *Pinus pinaster, Aiton*, acelerando a reflorestação e tornando-a mais eficaz e resiliente. Ou seja, planeamos alojar uma determinada espécie fúngica às raízes destas mesmas árvores, criando uma interação biológica íntima e duradoura entre estes dois organismos de espécies diferentes, na qual os dois obtém benefícios (as plantas, em troca de hidratos de carbono absorvidos pelo fungo, ganham um melhor acesso à água e nutrientes do solo). Com a elevada taxa de crescimento das árvores, programamos reflorestar Portugal mais rapidamente, e, posteriormente, o planeta. Também pretendemos tornar os lençóis freáticos mais limpos, aumentar os níveis de oxigénio, diminuir a erosão dos solos, diminuir a perda de biodiversidade, e de uma forma geral, apaziguar as alterações climáticas.

Para tornar esta ideia possível, idealizamos um produto final, chamado Power Growth, que contém um pó micorrizico, com a finalidade de inocular as árvores (a explicação mais detalhada deste produto será explicada mais à frente)

Este projeto encaixa-se nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU (ODS): número 12-produção e consumo sustentáveis; número 13- ação climática e número 15- proteger a vida terrestre.

A SymbioForest promove práticas de regeneração florestal que valorizam a biodiversidade e o uso responsável dos recursos naturais. Ao focar-se em métodos naturais e sustentáveis para o crescimento das plantas, o projeto incentiva um consumo mais consciente do solo e da biomassa (matéria orgânica de origem vegetal, animal ou micro-organismos, que pode ser utilizada como fonte de energia), evitando a degradação ambiental causada por técnicas agrícolas ou florestais intensivas e não sustentáveis. Através da reflorestação e promoção de ecossistemas florestais saudáveis, o projeto contribui para a mitigação das alterações climáticas. As florestas atuam como importantes sumidouros de carbono, ajudando a reduzir a quantidade de CO_2 na atmosfera. Ao recuperar áreas degradadas, o projeto apoia também a adaptação dos ecossistemas às mudanças climáticas, aumentando a sua resiliência. Além disso, está diretamente

alinhado com a proteção, recuperação e promoção da biodiversidade terrestre. Incentivando a simbiose entre diferentes espécies e restaurando habitats naturais, a SymbioForest ajuda a conservar ecossistemas, prevenir a perda de espécies e manter os serviços ambientais essenciais para a vida na terra.

Não estamos apenas a plantar árvores; estamos a reconstruir ecossistemas, a lutar por um planeta mais verde e a devolver a esperança às gerações futuras.

A escolha destas espécies de árvores (*Quercus robur* e *Pinus pinaster*) foi estratégica e validada pelos biólogos do Jardim Botânico do Porto, pois, são duas das espécies que demoram menos tempo a crescer, em comparação com outras espécies de árvores, e portanto, com a utilização das mesmas seria possível observar resultados experimentais quando utilizadas no procedimento experimental. Adicionalmente, o Carvalho-alvarinho e o pinheiro-bravo são bastante simbólicos para Portugal Continental. Estes representam a força, resiliência e identidade das florestas nacionais. O carvalho destaca-se pela sua longevidade, valor cultural e contribuição para a biodiversidade, enquanto o pinheiro-bravo é fundamental na proteção do solo, regeneração pós-incêndios e na economia, especialmente na produção de cortiça e madeira. Juntas, estas espécies refletem a ligação profunda entre os portugueses e a sua natureza, sendo essenciais para a sustentabilidade ambiental do país.

No entanto, prevemos que a ideia deste projeto poderá ser aplicada a qualquer outro tipo de árvore com a espécie de fungos certa.

4. Benefícios das micorrizas

Na Planta:

A relação simbiótica micorriza-planta oferece um vasto leque de benefícios fisiológicos e ecológicos, fundamentais para o seu crescimento, sobrevivência e desempenho em ambientes naturais ou sujeitos a stress ambiental. O estabelecimento desta simbiose, embora não imediato, desencadeia alterações profundas na fisiologia e na ecologia da planta, com impactos que vão desde a absorção de nutrientes até à resistência a doenças.

Um dos principais contributos das micorrizas é a maior absorção de água e nutrientes. As hifas fúngicas extrarradiculares atuam como uma extensão do sistema radicular, penetrando no solo muito além do alcance das raízes finas. Este aumento significativo da área de absorção permite a captação de nutrientes essenciais como fósforo (P), azoto (N), potássio (K), zinco (Zn) e cobre (Cu), mesmo em solos empobrecidos. Este efeito é particularmente importante no caso do fósforo, um elemento de baixa mobilidade no solo, cuja absorção é fortemente dependente da atividade micorrízica. Através de estruturas intracelulares denominadas arbúsculos (presentes nas micorrizas arbusculares), os fungos

transferem diretamente o fósforo mobilizado para as células radiculares (Parniske, 2008). Além disso, em situações de seca, as hifas fúngicas conseguem aceder a microporos e reservatórios de água indisponíveis às raízes, promovendo uma maior tolerância ao défice hídrico (Augé, 2001; Smith et al., 2010).

Outro benefício crucial é o aumento da resistência a pragas e doenças. As micorrizas ativam uma resposta imunitária basal da planta, conhecida como "*priming*", que prepara o organismo vegetal para reagir de forma mais rápida e eficiente ao ataque de patógenos. Esta ativação estimula a produção de compostos fenólicos, enzimas antioxidantes e proteínas de defesa (Pozo & Azcón-Aguilar, 2007). Estudos demonstram que plantas micorrizadas apresentam maior resistência a doenças (como fungos e bactérias nocivas) (Cameron et al., 2013), tanto pela indução de resistência sistémica como pela competição direta com os patogénicos na rizosfera. Este efeito não se limita a doenças: a presença de micorrizas pode também reduzir o impacto de pragas herbívoras, alterando a composição química dos tecidos vegetais e desencorajando o ataque.

A proteção das raízes é outro aspeto essencial promovido por esta simbiose. Em árvores associadas a ectomicorrizas, forma-se um manto denso de hifas que envolve a raiz, funcionando como uma barreira física contra microrganismos patogénicos e danos mecânicos (Smith & Read, 2008). Esta capa fúngica não só protege as raízes, como também regula a entrada de substâncias do solo, contribuindo para um ambiente rizosférico mais estável. Além disso, os fungos micorrízicos alteram a comunidade microbiana da rizosfera, promovendo a presença de microrganismos benéficos que suprimem os agentes patogénicos (Johansson et al., 2004).

Como resultado destes processos, verifica-se um crescimento mais vigoroso e sustentável de seres autotróficos (são capazes de sintetizar seu próprio alimento a partir de material inorgânico) micorrizados. A simbiose influencia positivamente o equilíbrio hormonal da planta, estimulando a produção de auxinas (desempenham um papel crucial na promoção do alongamento celular, desenvolvimento do sistema radicular e controle do crescimento apical) e citoquininas (promovem a divisão celular, o crescimento de brotos laterais, retardam o envelhecimento das folhas e influenciam a formação de órgãos especializados), hormonas que regulam o crescimento radicular e aéreo. Árvores micorrizadas tendem a apresentar maior biomassa, melhor estabelecimento pós-transplante e maior taxa de sobrevivência, mesmo em condições adversas.

No Ecossistema e Planeta:

As micorrizas são fundamentais na manutenção da biodiversidade. Ao favorecerem o crescimento saudável e a sobrevivência de plantas hospedeiras, ajudam a garantir a estrutura e diversidade da vegetação. Isso cria condições ideais para a existência de insetos, aves, mamíferos, microrganismos e outras

espécies que dependem dessas plantas. Este papel estruturante tem efeitos em cascata sobre toda a teia alimentar terrestre.

As micorrizas contribuem significativamente para a qualidade do solo. As hifas fúngicas aumentam a agregação do solo ao produzirem glomalina, uma glicoproteína que estabiliza partículas e melhora a sua estrutura (Rillig, 2004). Isso reduz a erosão, aumenta a retenção de água e promove um ambiente mais favorável para o crescimento das raízes. Adicionalmente, a decomposição de matéria orgânica associada à atividade micorrízica enriquece o solo com nutrientes essenciais, fomentando ciclos biogeoquímicos equilibrados. Solos saudáveis e férteis são a base para ecossistemas estáveis e produtivos.

As florestas atuam como os principais reguladores atmosféricos do planeta, convertendo dióxido de carbono (CO_2) em oxigénio através da fotossíntese. Uma árvore madura pode absorver aproximadamente 22 kg de CO_2 por ano, libertando oxigénio suficiente para sustentar duas pessoas (FAO, 2020). Este papel torna-se ainda mais relevante perante a crise climática global. Ao acelerar o crescimento de árvores através de micorrizas — que melhoram a absorção de nutrientes e água — a Symbioforest aumenta a taxa de fixação de carbono por hectare desde os estágios iniciais da reflorestação.

Além disso, os fungos micorrízicos contribuem para a fixação de carbono no solo sob a forma de glomalina, uma proteína que estabiliza o solo e armazena carbono durante décadas (Rillig, 2004). Com isto, não só se aumenta a biomassa aérea, como também a resiliência subterrânea, transformando florestas jovens em reservatórios de carbono altamente eficazes.

As árvores associadas a fungos micorrízicos desempenham um papel vital na regulação dos ciclos hidrológicos terrestres. Esta simbiose promove um sistema radicular mais extenso e eficiente, permitindo que as árvores absorvam e filtrem maior quantidade de água da chuva, facilitando a sua infiltração no solo e reduzindo o escoamento superficial. Esse processo é essencial para o recarregamento dos aquíferos subterrâneos e para a manutenção de cursos de água durante os períodos de seca. Além disso, a retenção de água no solo é aumentada pela ação das hifas micorrízicas, que melhoram a estrutura e a porosidade do solo através da produção de glomalina, favorecendo a sua capacidade de retenção hídrica (Rillig, 2004).

Ao minimizar o escoamento superficial, as florestas micorrizadas também reduzem significativamente a erosão do solo. Isto evita o transporte de sedimentos, nutrientes em excesso e poluentes agrícolas para os cursos de água, protegendo a qualidade da água doce e dos sistemas fluviais.

Embora as micorrizas estejam diretamente associadas às raízes das plantas terrestres, o seu impacto alcança os oceanos de forma indireta mas extremamente poderosa.

Uma das principais formas de degradação dos oceanos é o escoamento de fertilizantes, pesticidas e sedimentos prejudiciais provenientes da agricultura e da desflorestação. Quando chove sobre áreas sem cobertura vegetal ou com solos degradados, grandes quantidades de nutrientes como nitrogénio e fósforo são arrastadas para rios, lagos e, eventualmente, para o mar. Isso provoca eutrofização, ou seja, uma explosão de crescimento de algas que consome o oxigénio da água e mata peixes e outras formas de vida marinha.

Tal como dito anteriormente, a simbiose melhora a qualidade dos solos, aumentando a capacidade de infiltração da água no solo, reduz o escoamento superficial e retém nutrientes antes que os mesmo escapem para os cursos de água, garantindo que menos poluição chega aos oceanos, protegendo por tanto zonas costeiras, estuários e recifes de coral.

As florestas capturam grandes quantidades de dióxido de carbono (CO_2) da atmosfera através da fotossíntese. O CO_2 é também responsável pela acidificação dos oceanos, pois quando se dissolve na água forma ácido carbónico (H_2CO_3), o que prejudica organismos como corais, moluscos e outros seres com calcário na sua composição.

As árvores com micorrizas crescem mais rapidamente e acumulam mais biomassa, o que aumenta a quantidade de carbono sequestrado da atmosfera (Averill & Hawkes, 2016). Portanto, a reflorestação com micorrizas não só melhora o solo, mas reduz o CO_2 atmosférico, ajudando indiretamente a manter o pH dos oceanos mais estável.

Ao proteger os solos contra erosão, as florestas micorrizadas evitam que sedimentos em excesso sejam levados para os rios e mares. Esses sedimentos, quando acumulados em zonas costeiras, bloqueiam a luz solar necessária para algas fotossintéticas, corais e pradarias marinhas, habitats essenciais para a reprodução de peixes e crustáceos.

Reduzindo a turbidez das águas costeiras, esta relação fungo-árvore contribui para a preservação de habitats marinhos costeiros, manutenção da biodiversidade marinha, proteção das comunidades piscatórias que dependem desses ecossistemas.

Benefícios Sociais, económicos e políticos:

A restauração de florestas saudáveis com apoio de micorrizas melhora os solos e aumenta a disponibilidade de água, dois fatores essenciais para a agricultura de subsistência. Comunidades que antes dependiam de terrenos degradados passam a ter acesso a solos férteis, permitindo produção alimentar mais segura e diversificada.

Além disso, sistemas agroflorestais micorrizados são mais resilientes a secas, pragas e doenças, o que reduz perdas económicas e melhora a segurança alimentar das populações locais.

A adoção de práticas sustentáveis como a reflorestação com micorrizas representa uma oportunidade estratégica tanto política como economicamente. Do ponto de vista económico, este método natural e eficiente reduz a necessidade de fertilizantes químicos, diminui custos em projetos de recuperação ambiental. Politicamente, projetos como a *Symbioforest* reforçam o cumprimento de compromissos ambientais internacionais, como o Acordo de Paris e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS).

5. Métodos e material

Para provar toda a base deste projeto foi desenvolvido um protocolo experimental que compreende quatro fases fundamentais: tratamento e desinfeção do solo e material, plantação e germinação das sementes, avaliação dos resultados do crescimento das plantas e produção do produto final.

1. Tratamento e desinfeção do solo

Para garantir um ambiente controlado e livre de contaminantes, o solo utilizado no experimento foi colocado em recipientes (pratos) e esterilizado na estufa a 130°C durante 30 a 40 minutos. Esta etapa é crucial para eliminar microrganismos que possam interferir nos resultados.

Além disso, todos os materiais utilizados — em especial as cuvetes onde as sementes serão plantadas — foram submetidos a um processo rigoroso de esterilização com lixívia ou detergente, assegurando a máxima higienização. Antes do início da plantação, registou-se o peso médio das sementes das duas espécies selecionadas para o estudo: *Pinus pinaster* e *Quercus robur*, permitindo um controlo inicial dos parâmetros experimentais.

Figura 2. esterilização do substrato no forno a 130ºC

2. Plantação das sementes e germinação

As sementes estratificadas (submeter as sementes a condições controladas de frio e humidade, de modo a quebrar a dormência e estimular a germinação) foram colocadas nas cuvetes previamente preparadas com substrato universal. Foram distribuídas 80 sementes de *Quercus robur* e 80 sementes de *Pinus pinaster*.

Durante o processo de germinação, que dura cerca de dois meses, as sementes foram regadas sempre que a superfície do solo, até uma profundidade de 3 cm, apresente secura. Esta prática garantiu um ambiente húmido adequado para o desenvolvimento das plantas. Normalmente, as sementes eram regadas de uma a duas vezes por semana, de modo a que o substrato atingisse o seu limite de saturação.

Figura 3 e 4. Rega das plantas.

Após este período, procedeu-se ao registo do número de folhas e ao registo do peso de cada planta.

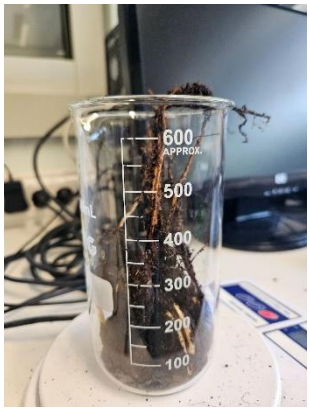


Figura 5 e 6. Medição da altura e registo do peso de cada planta.

Para a fase seguinte, selecionaram-se as plantas com melhor desenvolvimento, que foram transplantadas para cuvetes esterilizadas, mantendo-se uma planta por célula. Para os grupos experimentais e os grupos de controlo foram realizadas tabelas de modo a exemplificar a sua estrutura:

Sementes de *Pinus pinaster*	Pp com micorrizas	Pp com micorrizas e adubo	Pp com micorrizas e em condições de stress hídrico	Pp sem micorrizas	Pp sem micorrizas e com adubo	Pp sem micorrizas e em condições de stress hídrico
	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5
	6	6	6	6	6	6
	↓	↓	↓	↓	↓	↓
	Grupo de controlo	Grupo experimental		Grupo de controlo	Grupo experimental	

	Qr com micorrizas	Qr com micorrizas e adubo	Qr com micorrizas e em condições de stress hídrico	Qr sem micorrizas	Qr sem micorrizas e com adubo	Qr sem micorrizas e em condições de stress hídrico
Sementes de *Quercus robur*	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	4
	5	5	5	5	5	5
	6	6	6	6	6	6
	7	7	7	7	7	7
	8	8	8	8	8	8
	9	9	9	9	9	9
	10	10	10	10	10	10

Grupo de controlo | Grupo experimental | Grupo de controlo | Grupo experimental

Total de sementes de *Quercus robur*: 61

Figura 7 e 8: Variáveis em estudo e distribuição da amostra.

Para o grupo experimental das micorrizas, foi recolhido amostras de terra junto às árvores *Quercus robur* e *Pinus pinaster,* das quais continham micorrizas na sua composição. Posteriormente, esta terra foi colocada nestes mesmo grupos.

O adubo foi feito por nós, com uma recolha de restos de cascas de fruta e borras de café. Para um melhor acesso e colocação do adubo, este foi triturado

As sementes foram colocadas nas cuvetes tal como está exemplificado na próxima imagem:

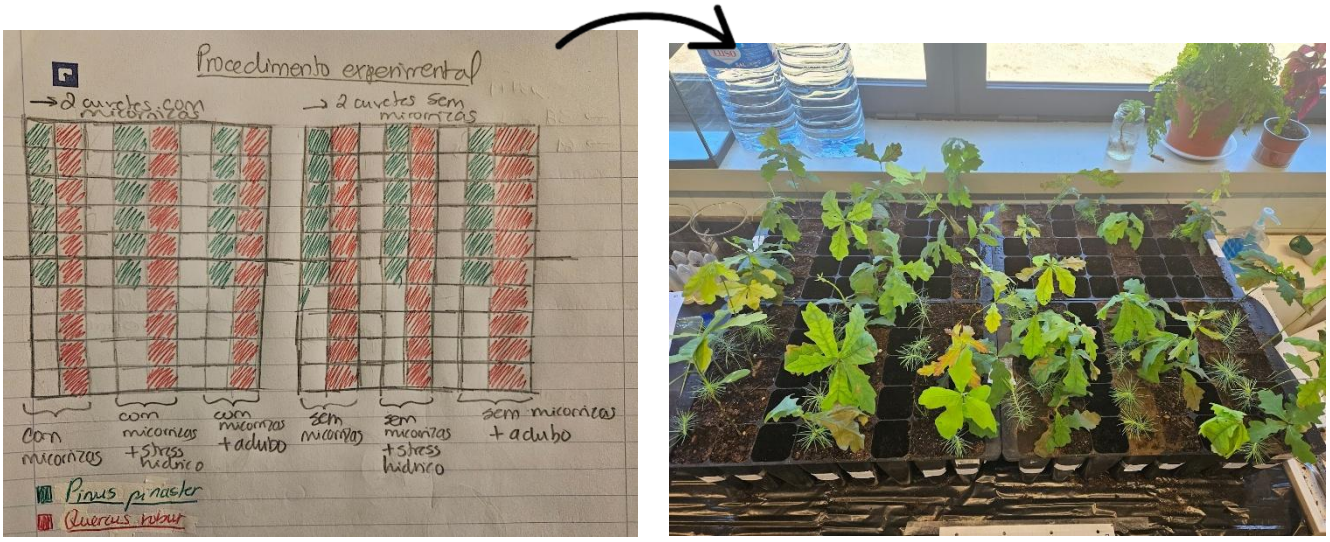


Figura 9 e 10. Exemplificação da estrutura do protocolo experimental

3. Avaliação dos resultados

Na fase final, é feita uma avaliação detalhada do crescimento das plantas. Medem-se o comprimento das raízes e dos caules, indicadores fundamentais da saúde e vigor das plantas.

As plantas são então removidas individualmente das cuvetes e o seu peso é registado, permitindo uma análise quantitativa do crescimento.

Com base nestas medições, calcula-se a média do peso e comprimento das plantas por grupo experimental. Estes dados são compilados e analisados para compreender o efeito das condições experimentais aplicadas no crescimento das espécies, contribuindo para o desenvolvimento de técnicas eficazes de regeneração florestal.

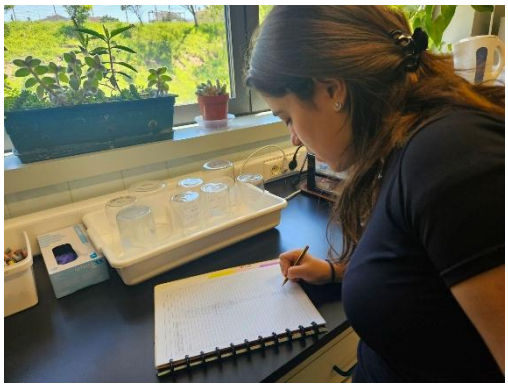


Figura 11: registo do peso das plantas

4-Produção do produto final

Numa fase futura, planeamos:

4.1. Cultivo do inóculo fresco (trap culture)

O inóculo inicial é produzido através de cultivo em vasos com substrato estéril, utilizando plantas hospedeiras como milho (Zea mays) ou gramíneas. O solo é inoculado com material micorrízico previamente colonizado e mantido sob rega controlada por um período de 8 a 12 semanas. Durante esse tempo, os fungos colonizam as raízes e produzem esporos livres no substrato.

4.2. Recolha e secagem do material

Após o período de crescimento, o substrato é cuidadosamente recolhido, juntamente com raízes colonizadas. O material é seco à sombra, em local ventilado, a temperaturas inferiores a 40 °C, de forma a preservar a viabilidade dos esporos.

4.3. Trituração e preparação do pó

O material seco é triturado mecanicamente até se obter uma granulometria fina.

Para estabilização e facilitar a aplicação, o pó é misturado com um carreador inerte (ex: argila seca, perlita ou talco agrícola). Carreador inerte define-se como um material que transporta outra substância (serve apenas como meio de transporte. Ele não altera, reage nem interfere com o que está a ser transportado. A sua função é garantir que a substância de interesse chegue ao destino de forma estável e controlada).

Em resumo:

Em termos de material, os nossos custos foram reduzidos pois a maioria deles formam fornecidos pela Escola Secundária da Maia.

Material	Custos(€)
Cuvetes de germinação	4x8,65
Substrato universal	3,98
Substrato de vermiculite	5,89
Sementes de *Quercus robur* e *Pinus pinaster*	Fornecido por CENASEF
Papel vinil personalizado	6,85
Pá de Jardinagem	2,50
Material de laboratório (estufa, pipetas graduadas, pinças, vidros de relógio, goblés, água destilada, garrafas de esquicho, balança digital,autocolantes, alcóol, pompete e batas)	Fornecido pela escola
Terra micorrizada	Recolhida naturalmente
Poster	Fornecido pela escola
Crachás	4,38

6. Resultados

Atualmente, de um total de 80 sementes germinadas por espécie, registam-se taxas de sobrevivência distintas entre o *Pinus pinaster* e o *Quercus robur*. No caso do *Pinus pinaster*, apenas 37 indivíduos sobreviveram, o que corresponde a uma taxa de sobrevivência de 46,25%. Em contraste, o *Quercus robur* apresenta uma taxa significativamente mais elevada, com 61 indivíduos sobreviventes, o que representa 76,25% das sementes inicialmente germinadas.

Até ao momento, não se observam diferenças visíveis entre os grupos de plantas inoculadas com fungos micorrízicos e os grupos controles (não inoculados). Este resultado é atribuído ao reduzido tempo de desenvolvimento das plantas, que ainda não permite detetar os efeitos da micorrização.

Contudo, espera-se que, com o decorrer do tempo, as plantas inoculadas venham a demonstrar um desempenho superior, quer ao nível da taxa de crescimento, quer da resistência a condições adversas. A associação micorrízica, ao potenciar a absorção de nutrientes e a proteção das raízes, deverá refletir-se em melhorias visíveis no desenvolvimento e na resiliência das plantas, especialmente em ambientes com baixa fertilidade ou sujeitos a stresse hídrico e patogênico.

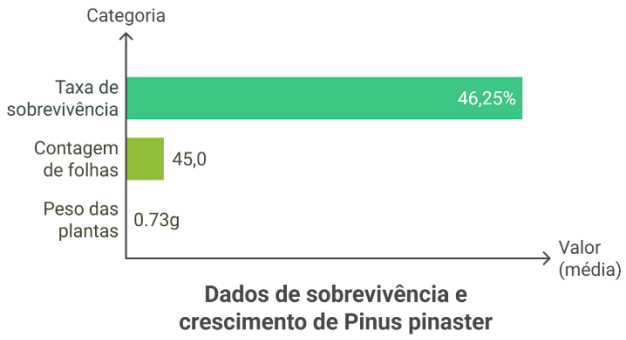


Figura 12 e 13. Dados das plantas germinadas.

7. Discussão e Conclusão

Até ao momento, os resultados obtidos não revelam diferenças visíveis entre os grupos de plantas inoculados com fungos micorrízicos e os grupos de controlo. No entanto, esta ausência de efeitos imediatos está alinhada com aquilo que é reportado na literatura científica: os benefícios das micorrizas tendem a manifestar-se de forma mais significativa a médio e longo prazo, após o estabelecimento efetivo da simbiose fungo-planta.

A formação desta relação simbiótica é um processo gradual, que exige tempo para que o fungo se integre totalmente no sistema radicular da planta e comece a influenciar o seu desenvolvimento. Diversos estudos feitos anteriormente já demonstraram que, uma vez estabelecida, esta associação pode melhorar o crescimento das plantas, aumentar a sua eficiência na absorção de nutrientes e reforçar a sua resistência a condições adversas, como a escassez de água em outras espécies.

Com base nisso, mantemos a expectativa de que, nas fases seguintes do projeto, se comecem a observar diferenças mais acentuadas entre os diferentes grupos. A nossa equipa continuará a monitorizar atentamente o desenvolvimento das plantas, com o objetivo de recolher dados mais robustos e avaliar o impacto real da micorrização no contexto da reflorestação sustentável nas espécies nativas *Pinus pinaster* e *Quercus robur*.

Apesar de ainda estarmos numa fase inicial, consideramos que este projeto representa um contributo relevante para a exploração de soluções ecológicas baseadas na biotecnologia natural, com potencial para aplicação prática em estratégias de recuperação de ecossistemas degradados.

8. Protótipo

O protótipo (Power Growth) desenvolvido pela *Symbioforest* consiste num inoculante micorrízico em pó, pensado para acelerar e melhorar processos de reflorestação de forma 100% natural. Trata-se de um produto biológico formulado a partir de esporos e fragmentos de hifas de fungos micorrízicos arbusculares, cuidadosamente selecionados pela sua eficácia na simbiose com espécies autóctones como o *Pinus pinaster* e o *Quercus robur*.

Ao ser incorporado no substrato das plantas jovens ou diretamente no solo junto às raízes, o produto estabelece uma simbiose entre os fungos e as árvores, promovendo:

- Maior absorção de água e nutrientes.

- Maior resistência a pragas, doenças e secas.

- Crescimento mais rápido e saudável.

- Redução da necessidade de fertilizantes e intervenções externas.

O produto poderá ser adaptado tanto a projetos pequenos (como jardins urbanos) como a ações de reflorestação em larga escala.

A embalagem será composta por material reciclável e biodegradável, com design funcional e informativo, tornando o produto acessível a todas as faixas etárias.

Figura 14. Produto da SymbioForest- Power Growth (parte da frente e de trás, respetivamente).

9. Futuro

A simbiose fungo-planta é um processo gradual, e espera-se que, nas próximas fases, se comecem a notar melhorias no crescimento e resistência das plantas. Apesar da fase inicial, o trabalho já representa um passo promissor na aplicação de soluções ecológicas para a recuperação de ecossistemas degradados.

No futuro, a SymbioForest planeia acompanhar o desenvolvimento da plantação de modo a obter resultados mais específicos e a transpor esta ideia para outras

espécies de árvores. A melhoria do suplemento Power Growth e a aplicação em áreas florestais públicas ou privadas é também um objetivo a cumprir.

10. A Importância do projeto/ o que nos distingue

A SymbioForest é mais do que um projeto escolar — é uma proposta transformadora para a regeneração florestal baseada em ciência, natureza e ação jovem. Numa era marcada pela desflorestação, erosão dos solos e perda de biodiversidade, esta iniciativa oferece uma solução prática, ecológica e acessível: o uso de fungos micorrízicos, que formam uma simbiose ancestral com as raízes das plantas, acelerando o crescimento, fortalecendo o solo e promovendo ecossistemas mais resilientes e vivos.

Ao contrário de projetos que dependem de fertilizantes ou monoculturas, a SymbioForest apoia-se nos princípios da simbiogénese, criando microecossistemas sustentáveis e diversos, capazes de evoluir em equilíbrio com o meio. Esta abordagem natural permite reflorestar com mais eficácia e sem químicos, respeitando os ciclos da vida.

O que também nos distingue é o caráter jovem e educativo do projeto. Criado por estudantes, a SymbioForest prova que a juventude tem voz, ideias e soluções reais para problemas globais. Unimos ciência, educação e ativismo ambiental, inspirando outras escolas e comunidades a envolverem-se na regeneração do planeta.

Com potencial de aplicação local e global, a SymbioForest é um modelo escalável e inovador que alia conhecimento ancestral à tecnologia ecológica. Uma nova forma de fazer reflorestação — mais natural, mais inteligente, mais urgente.

11. Agradecimentos

Não conseguiríamos prosseguir com este projeto sem a ajuda da nossa professora de biologia Luísa Santos da Escola Secundária da Maia, que nos acompanhou e guiou em todas as etapas. Uma parte crucial da evolução da SymbioForest foram os biólogos Iúri Frias e João Junqueira do Jardim Botânico do Porto, que nos providenciaram informações sobre botânica, tornando o projeto mais estruturado. Para além disso, a Professora Doutora Paula Melo da Faculdade de Ciências do Porto foi quem nos deu a conhecer e motivou o uso do principal elemento deste projeto: as micorrizas. Não nos podemos esquecer de agradecer ao ICNF-Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas- que nos disponibilizou as 80 sementes de *Quercus robur* e 80 sementes de *Pinus*

pinaster. Agradecemos a estes nossos colaboradores, sem estes colaboradores nada seria possível.

12. Reflexões

Beatriz

O desenvolvimento do projeto Symbioforest foi uma experiência marcante tanto a nível académico como pessoal. Aprendi a importância dos fungos micorrízicos na regeneração dos ecossistemas e percebi como a ciência pode dar respostas concretas a problemas ambientais. Trabalhar com as minhas colegas ensinou-me a lidar com desafios, a valorizar o trabalho em equipa e a nunca desistir perante as dificuldades. Este projeto fez-me crescer, despertou ainda mais o meu interesse pela sustentabilidade, biotecnologia e botânica e deixou-me orgulhosa por contribuir, mesmo que de forma pequena, para um futuro mais verde.

Inês Fonseca

Fazer parte da **SymbioForest** foi uma experiência muito enriquecedora. Aprendi mais sobre questões ambientais e desenvolvi uma maior consciência ecológica. O projeto ajudou-me a crescer como pessoa e cidadã, ensinando-me a trabalhar em equipa, a comunicar melhor e a enfrentar desafios com responsabilidade.

Além disso, ganhei competências úteis para o futuro, como organização, comunicação e gestão de projetos. Apesar dos obstáculos, esta experiência deu-me motivação para continuar a contribuir para um mundo mais sustentável.

Inês Barbosa

Participar no projeto SymbioForest foi uma jornada transformadora que uniu conhecimento científico, consciência e crescimento pessoal. Através deste trabalho, aprofundei o meu entendimento sobre o papel essencial das micorrizas na saúde das florestas e na restauração ecológica, compreendendo como a simbiose entre plantas e fungos pode ser uma ferramenta poderosa na regeneração de ecossistemas degradados.

Mais do que uma experiência escolar, este projeto foi uma lição de colaboração e resiliência. Trabalhar com o grupo fez-me perceber o valor do diálogo, da entreajuda e da persistência, sobretudo quando surgiam dificuldades inesperadas. Foi um exercício constante de adaptação, aprendizagem e superação.

Senti também um despertar mais profundo para a importância da sustentabilidade e da biotecnologia aplicada ao ambiente. Este contacto direto com a investigação científica motivou-me a querer continuar a explorar e a

procurar soluções práticas para os desafios ambientais que enfrentamos. Levo comigo não só novas competências, como a organização e a comunicação em contexto de projeto, mas também a certeza de que, mesmo em pequena escala, é possível fazer a diferença rumo a um futuro mais equilibrado.

13. Referências Bibliográficas

A

ACPA. *Porco Alentejano*. Disponível em: https://www.porcoalentejano.com/index.php?modulo=pagina31 (visitado em 09/10/24).

Allen, M. F. (1991). *The ecology of mycorrhizae*. Cambridge University Press.

Atala, C.; Reyes, S.; Molina-Montenegro, M. (Março de 2023). *Assessing the Importance of Native Mycorrhizal Fungi to Improve Tree Establishment after Wildfires* - PubMed (visitado a 09/10/24).

B

Barea, J. M.; Pozo, M. J.; Azcón, R.; Azcón-Aguilar, C. (2005). *Microbial cooperation in the rhizosphere*. Journal of Experimental Botany, 56(417), 1761–1778. https://doi.org/10.1093/jxb/eri205

Bever, J. D.; Richardson, S. C.; Lawrence, B. M.; Holmes, J.; Watson, M. (2009). *Preferential allocation to beneficial symbiont with spatial structure maintains mycorrhizal mutualism*. Ecology Letters, 12(1), 13–21. https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2008.01254.x

Bonfante, P.; Genre, A. (2010). *Mechanisms underlying beneficial plant–fungus interactions in mycorrhizal symbiosis*. Nature Communications, 1(4), 48. https://doi.org/10.1038/ncomms1046

Borek, R.; Księżniak, A. *Árvores e micorrizas – uma simbiose que melhora a produção agroflorestal em climas temperados* | EURAF (visitado em 16/10/2024).

Brundrett, M. C.; Bougher, N.; Dell, B.; Grove, T.; Malajczuk, N. (1996). *Working with mycorrhizas in forestry and agriculture*. Australian Centre for International Agricultural Research.

C

Costa, A.; Baptista, P.; Martins, A. (2005). *Micorrização in vitro de germinantes de Pinus pinaster: estudos histológicos e de crescimento*. In VII Congresso Luso-Galaico de Macromicologia. Vila Real. (visitado a 09/10/24).

D

Dirzo, R.; Young, H. S.; Galetti, M.; Ceballos, G.; Isaac, N. J.; Collen, B. (2014). *Defaunation in the Anthropocene*. Science, 345(6195), 401–406.

Dutra, P.; Agusti, M. https://www.ufrgs.br/fagro/materiais/149596.pdf (visitado a 11/10/24).

E

Ellison, D.; Morris, C. E.; Locatelli, B.; Sheil, D.; Cohen, J.; Murdiyarso, D.; ... Gaveau, D. (2017). *Trees, forests and water: Cool insights for a hot world*. Global Environmental Change, 43, 51–61.

F

FAO – Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020*.

FAO. (2020). *The state of the world's forests 2020: Forests, biodiversity and people*. https://doi.org/10.4060/ca8642en

Fernandes, S.; Machado, C.; Lopes, V.; Vilela, M.; Fernandes, L. (2010). *Fungos Micorrízicos Arbusculares em Áreas de Agricultores Familiares da Comunidade Água Boa 2, Rio Pardo de Minas, MG*. (visitado em 11/10/24).

G

Gibbs, H. K.; Ruesch, A. S.; Achard, F.; Clayton, M. K.; Holmgren, P.; Ramankutty, N.; Foley, J. A. (2010). *Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s*. PNAS, 107(38), 16732–16737.

H

Hansen, M. C.; Potapov, P. V.; Moore, R.; Hancher, M.; Turubanova, S.; Tyukavina, A.; ... Townshend, J. R. G. (2013). *High-resolution global maps of 21st-century forest cover change*. Science, 342(6160), 850–853.

I

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Contribution of Working Group III to the Sixth Assessment Report of the IPCC.

J

Jackson, R. B.; Jobbágy, E. G.; Avissar, R.; Roy, S. B.; Barrett, D. J.; Cook, C. W.; ... Murray, B. C. (2005). *Trading water for carbon with biological carbon sequestration*. Science, 310(5756), 1944–1947.

Jeffries, P.; Gianinazzi, S.; Perotto, S.; Turnau, K.; Barea, J. M. (2003). *The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility*. Biology and Fertility of Soils, 37(1), 1–16. https://doi.org/10.1007/s00374-002-0546-5

Jose, S. (2009). *Agroforestry for ecosystem services and environmental benefits: An overview*. Agroforestry Systems, 76(1), 1–10.

L

Laurance, W. F.; Goosem, M.; Laurance, S. G. (2009). *Impacts of roads and linear clearings on tropical forests*. Trends in Ecology & Evolution, 24(12), 659–669.
Lawson, S. (2014). *Illegal Logging and Related Trade: Indicators of the Global Response*. Chatham House.
Lidon, F.; Gomes, H.; Abrantes, A. (2001). *Anatomia e Morfologia Externa das Plantas Superiores*. Lidel.

M

MEA – Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*. World Resources Institute.
Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Island Press. https://www.millenniumassessment.org
Miransari, M. (Novembro 2010). *Interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and soil bacteria* - PubMed (visitado a 09/10/24).

N

Nasslahsen, B.; Prin, Y.; Ferhout, H.; Smouni, A.; Duponnois, R. (Outubro 2022). *Management of Plant Beneficial Fungal Endophytes to Improve the Performance of Agroecological Practices* - PubMed (visitado em 16/10/24).
Nepstad, D.; McGrath, D.; Stickler, C.; Alencar, A.; Azevedo, A.; Swette, B.; ... Hess, L. (2014). *Slowing Amazon deforestation through public policy and interventions in beef and soy supply chains*. Science, 344(6188), 1118–1123.
Neuenkamp, L.; Moora, M.; Öpik, M.; Davison, J.; Gerhold, P.; Metsis, M.; Zobel, M. (2018). *The role of mycorrhizal type in plant colonization of new habitats*. New Phytologist, 220(4), 1036–1047. https://doi.org/10.1111/nph.14992

O

OMS – Organização Mundial da Saúde. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/biodiversity (fev, 2025) - visitado em março de 2025.

P

Pattinson, G. S.; Hammill, K. A.; Sutton, B. G. (Dezembro de 2004). *Growth and survival of seedlings of native plants in an impoverished and highly disturbed soil following inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi* (visitado em 09/10/24).
Phillips, R. P.; Brzostek... [referência incompleta].
Pimentel, D.; Harvey, C.; Resosudarmo, P.; Sinclair, K.; Kurz, D.; McNair, M.; ... Blair, R. (1995). *Environmental and economic costs of soil erosion and conservation benefits*. Science, 267(5201), 1117–1123.

S

Smith, S. E.; Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis* (3rd ed.). Academic Press.
Soudzilovskaia, N. A.; van der Heijden, M. G. A.; Cornelissen, J. H. C.; Makarov, M. I.; Onipchenko, V. G.; Maslov, M. N.; Akhmetzhanova, A. A. (2015). *Quantitative assessment of mycorrhizal species contributions to ecosystem nutrient cycling*. New Phytologist, 205(4), 1377–1387. https://doi.org/10.1111/nph.13123

U

UNDRIP – United Nations Declaration on the Rights of Indigenous Peoples. (2007). United Nations.

V

van der Heijden, M. G. A.; Horton, T. R. (2009). *Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems*. Journal of Ecology, 97(6), 1139–1150.

Z

Zambolim, L.; Siqueira, J. O. (1992). *Importância e Potencial das Associações de Micorrízicas para a Agricultura*. https://www.scielo.br/j/cr/a/ZXZ9DjFb9F8hVzwZQfqj8MQ/?format=pdf&lang=pt (visitado em 09/10/24).