

MODELOS DE VALORIZAÇÃO DE BIOMASSA RESIDUAL DOS BALDIOS À ESCALA COMUNITÁRIA

RELATÓRIO TÉCNICO-CIENTÍFICO





Inovação e cooperação na gestão dos baldios,
para potenciar a bioeconomia, sustentabilidade
e resiliência das comunidades rurais
e da agro-silvo-pastorícia
www.bemcomum.altominho.pt



Este guia foi concebido para ser lido em formato digital. Evite imprimi-lo!
Aproveite a navegação interativa entre páginas e o acesso direto a
recursos complementares. Basta clicar nos textos sublinhados.
A consulta torna-se mais prática, completa e sustentável.

ÍNDICE

1 INTRODUÇÃO TEÓRICA E ENQUADRAMENTO

2 CARACTERIZAÇÃO DAS BIOMASSAS LENHOSAS

2 Enquadramento

3 Espécies arbóreas

3 Matos arbustivos lenhosos

4 Potencial para produção de biochar, sequestro de carbono e remediação de solos

5 MODELOS DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA

5 Lenha Solidária: Modelo Comunitário de Distribuição

5 Venda de Lenha numa Perspetiva de Mercado

6 Venda de Biomassa Lenhosa Residual para Centrais de Biomassa

6 Venda de Rolaria para Produção de Pellets de Biomassa

7 MODELOS DE FERTILIZAÇÃO E REMEDIAÇÃO DE SOLOS

7 Produção e Aplicação de Biochar

8 Deposição Direta de Biomassa no Solo

9 CONCLUSÃO



INTRODUÇÃO TEÓRICA E ENQUADRAMENTO



Os baldios constituem um património territorial de relevância ímpar em Portugal, particularmente nas regiões montanhosas do Norte e Centro do país. Definidos legalmente como terrenos possuídos e geridos por comunidades locais, estes espaços desempenham funções multifacetadas que transcendem a mera exploração agro-silvo-pastoril. Historicamente, os baldios garantiram a subsistência das populações rurais através do fornecimento de pastagens, lenhas, matos para cama de gado e materiais de construção. Na atualidade, o seu papel expandiu-se para a provisão de serviços de ecossistemas cruciais, como a regulação do ciclo hidrológico, a conservação da biodiversidade e o sequestro de carbono.

O projeto "Bem Comum" surge com o propósito de potenciar a bioeconomia, a sustentabilidade e a resiliência das comunidades rurais, promovendo uma gestão partilhada e inovadora destes recursos. Este projeto, com incidência no noroeste de Portugal (Alto Minho, Cávado, Ave e Alto Tâmega), aposta em metodologias participativas para contrariar o despovoamento e a marginalização económica dos territórios de montanha, tirando partido do seu rico património natural e cultural.

No contexto da gestão florestal e da mitigação do risco de incêndio rural, a acumulação de biomassa lenhosa residual assume-se como um desafio crítico. A biomassa florestal residual, composta por sobrantes de atividades de silvicultura (ramos, cepos, bicadas) e de operações de controlo de vegetação, representa simultaneamente um risco, quando acumulada no terreno, e uma oportunidade económica e ambiental, quando devidamente valorizada. Estima-se que Portugal disponha de quantidades significativas de biomassa florestal residual, com avaliações a apontar para cerca

de 2 milhões de toneladas anuais passíveis de aproveitamento, a que se somam os sobrantes da indústria de base florestal.

A Ação 7.6 do projeto Bem Comum foca-se especificamente na formulação de propostas de modelos de valorização desta biomassa residual à escala comunitária. A transição para uma bioeconomia circular exige que os resíduos florestais deixem de ser perspetivados como um ónus ou um problema de proteção civil, para passarem a ser encarados como matéria-prima valiosa para a produção de energia renovável e para a melhoria da qualidade dos solos.

O presente relatório técnico-científico caracteriza seis modelos distintos de valorização da biomassa residual dos baldios, estruturados em duas vertentes principais: valorização energética, correspondente a quatro modelos, e aplicação como fertilizante e remediador de solos, correspondente a dois modelos. A implementação destes modelos visa não apenas a sustentabilidade ambiental, através da redução da carga combustível e do sequestro de carbono, mas também a dinamização económica das comunidades locais, gerando novas fontes de rendimento, criando emprego local e promovendo a coesão social em territórios de baixa densidade. Importa ainda referir que os diferentes temas abordados no relatório foram também trabalhados numa perspetiva teórica e de natureza explicativa no âmbito de uma ação de produção de biochar, durante a qual se procedeu à produção deste material por métodos tradicionais, com recurso a um modelo adaptado do *Pennsylvania kiln*, bem como num seminário dedicado à valorização de lenhas, onde foram apresentados e discutidos alguns casos de estudo relacionados com a iniciativa "lenha solidária" e com a comercialização de lenha em condições de mercado.

CARACTERIZAÇÃO DAS BIOMASSAS LENHOSAS

ENQUADRAMENTO

Foi constituída uma base de dados que inclui três grupos com interesse direto para as propostas de valorização preconizadas para o projeto: matos arbustivos lenhosos, espécies arbóreas e biomassa residual lenhosa de origem agrícola, aqui representada pelas podas de vinha. Os parâmetros identificados como relevantes foram a análise imediata, composição elementar, poder calorífico superior e inferior em base seca, fusibilidade de cinzas e análise de metais. Esta combinação de variáveis permite discutir, de forma objetiva, o interesse das diferentes biomassas para uso como combustível sólido e, em paralelo, a sua aptidão potencial como matéria-prima para processos de carbonização e produção de biochar.

Numa perspetiva de valorização energética, os parâmetros mais determinantes são o teor de humidade, o teor de cinzas, o carbono fixo, o teor de carbono e o poder calorífico. Em termos gerais, teores de cinzas mais baixos tendem a favorecer o desempenho combustível e a reduzir problemas operacionais associados à gestão de resíduos minerais, enquanto teores mais elevados de carbono fixo e de carbono total são compatíveis com um maior interesse para rotas de carbonização.

A comparação agregada evidencia diferenças relevantes entre os grupos. Em média, os matos arbustivos lenhosos apresentam maior teor de carbono, maior carbono fixo e maior poder calorífico superior em base seca do que o conjunto das espécies arbóreas. As espécies arbóreas, por sua vez, apresentam em média menor teor de cinzas e maior temperatura inicial de deformação das cinzas, o que, numa perspetiva de uso combustível, pode ser favorável em sistemas mais sensíveis a fenómenos de fusão, escorificação ou incrustação.

As podas de vinha surgem como uma biomassa residual lenhosa com humidade baixa, teor de cinzas contido e carbono fixo relativamente elevado, embora com poder calorífico inferior ao da generalidade dos matos lenhosos e próximo do intervalo inferior observado nas espécies arbóreas. Este perfil sugere aptidão para valorização local, quer por via energética, quer por carbonização, desde que o processo seja dimensionado para esta matéria-prima específica.

TABELA 1.
Síntese comparativa dos principais grupos de biomassa lenhosa.

| Grupo | Humidade (%) | Cinzas (%) | Carbono fixo (%) | C (%) | PCS bs (MJ/kg) | PCI bs (MJ/kg) | IDT (°C) |
|---------------------------|--------------|------------|------------------|-------|----------------|----------------|----------|
| Matos arbustivos lenhosos | 6.11 | 2.86 | 18.29 | 59.97 | 20.51 | 19.27 | 758.59 |
| Espécies arbóreas | 7.52 | 1.73 | 16.55 | 47.87 | 19.87 | 18.62 | 884 |
| Podas de vinha | 3.67 | 1.42 | 19.58 | 46.28 | 18.95 | 17.58 | - |



ESPÉCIES ARBÓREAS

No grupo das espécies arbóreas, o melhor compromisso entre baixo teor de cinzas e valor energético situa-se sobretudo no *Pinus pinaster*, na *Acacia dealbata*, na *Acacia melanoxylon* e no *Eucalyptus globulus*. O *Pinus pinaster* apresenta o teor de carbono mais elevado deste grupo, com 50.21%, o maior carbono fixo, com 17.35%, e um teor de cinzas baixo, de 0.58%, o que reforça o seu interesse tanto como combustível como como matéria-prima para carbonização. O *Eucalyptus globulus* apresenta 0.85% de cinzas, PCS de 19.39 MJ/kg e IDT de 914 °C, enquanto a *Acacia dealbata* e a *Acacia melanoxylon* evidenciam teores de cinzas particularmente baixos, de 0.48% e 0.74%, respetivamente.

O *Ailanthus altissima* distingue-se por apresentar o PCS mais elevado entre as espécies arbóreas consideradas, com 22.23 MJ/kg, mas associa este desempenho a um teor de cinzas de 2.96% e a uma temperatura inicial de deformação de cinzas de 783 °C, inferior à observada nas restantes espécies do grupo. A *Robinia pseudoacacia* apresenta PCS de 19.54 MJ/kg, mas evidencia o teor de cinzas mais elevado do conjunto arbóreo, com 4.78%, o que reduz a sua atratividade relativa em sistemas térmicos mais exigentes.

TABELA 2.
Espécies arbóreas caracterizadas.

| Espécie | Humidade (%) | Cinzas (%) | Carbono fixo (%) | C (%) | PCS bs (MJ/kg) | PCI bs (MJ/kg) | IDT (°C) |
|-----------------------------|--------------|------------|------------------|-------|----------------|----------------|----------|
| <i>Eucalyptus globulus</i> | 8.24 | 0.85 | 15.42 | 47.30 | 19.39 | 18.15 | 914 |
| <i>Acacia dealbata</i> | 7.01 | 0.48 | 16.04 | 47 | 19.37 | 18.11 | 864 |
| <i>Acacia melanoxylon</i> | 8.49 | 0.74 | 17.02 | 47 | 19.35 | 18.12 | 887 |
| <i>Robinia pseudoacacia</i> | 7.07 | 4.78 | 16.59 | 48.20 | 19.54 | 18.27 | 905 |
| <i>Pinus pinaster</i> | 6.04 | 0.58 | 17.35 | 50.21 | 19.35 | 17.87 | 951 |
| <i>Ailanthus altissima</i> | 8.29 | 2.96 | 16.86 | 47.52 | 22.23 | 21.21 | 783 |

MATOS ARBUSTIVOS LENHOSOS

No conjunto dos matos arbustivos lenhosos, o potencial energético é, em vários casos, superior ao das espécies arbóreas. Destacam-se a *Erica scoparia*, com PCS de 22.98 MJ/kg, a *Erica australis*, com 22.92 MJ/kg, a *Erica umbellata*, com 22.49 MJ/kg, a *Erica arborea*, com 21.73 MJ/kg, e o *Pterospartum tridentatum*, com 21.71 MJ/kg. Para além do valor energético, várias destas espécies conjugam teores de carbono elevados com carbono fixo igualmente elevado, o que as torna especialmente interessantes para processos de carbonização e produção de biochar.

Entre estas biomassas, o *Pterospartum tridentatum* apresenta um perfil particularmente equilibrado, com

humidade de 2.44%, cinzas de 1.37%, carbono fixo de 21.85% e teor de carbono de 63.6%. A *Erica australis* e a *Erica arborea* combinam igualmente baixos teores de cinzas, 1.37% e 1.81%, com teores elevados de carbono e poder calorífico. Em sentido menos favorável, a *Erica scoparia* atinge o valor energético mais alto do subconjunto analisado, mas apresenta 4.94% de cinzas, enquanto o *Arbutus unedo*, apesar do PCS de 21.24 MJ/kg, regista 3.90% de cinzas. A *Hakea sericea* e a *Cytisus striatus* revelam perfis intermédios e tecnicamente equilibrados, compatíveis com valorização energética e com interesse potencial para carbonização descentralizada.

TABELA 3.
Espécies arbustivas lenhosas com maior interesse técnico.

| Espécie | Humidade (%) | Cinzas (%) | Carbono fixo (%) | C (%) | PCS bs (MJ/kg) | PCI bs (MJ/kg) |
|---------------------------------|--------------|------------|------------------|-------|----------------|----------------|
| <i>Erica scoparia</i> | 3.69 | 4.94 | 20.99 | 65.20 | 22.98 | 21.64 |
| <i>Erica australis</i> | 5.68 | 1.37 | 19.35 | 65.70 | 22.92 | 21.58 |
| <i>Erica umbellata</i> | 3.99 | 2.13 | 20.45 | 64.70 | 22.49 | 21.14 |
| <i>Erica arborea</i> | 5.66 | 1.81 | 20.56 | 63.90 | 21.73 | 20.44 |
| <i>Pterospartum tridentatum</i> | 2.44 | 1.37 | 21.85 | 63.60 | 21.71 | 20.42 |
| <i>Ulex minor</i> | 8.17 | 2.08 | 18.37 | 60.60 | 21.50 | 20.31 |
| <i>Cytisus striatus</i> | 7.43 | 2 | 17.32 | 59.50 | 21.26 | 20.02 |
| <i>Arbutus unedo</i> | 7.12 | 3.90 | 20.25 | 57.10 | 21.24 | 20.13 |
| <i>Hakea sericea</i> | 6.41 | 1.70 | 17.97 | 60 | 20.45 | 19.17 |
| <i>Cistus salviifolius</i> | 4.47 | 2.92 | 20.74 | 59.20 | 19.21 | 17.94 |

POTENCIAL PARA PRODUÇÃO DE BIOCHAR, SEQUESTRO DE CARBONO E REMEDIAÇÃO DE SOLOS

Numa perspetiva de produção de biochar, as biomassas mais promissoras são, em termos gerais, aquelas que combinam teor de carbono elevado, carbono fixo elevado e cinzas moderadas. Com base nos dados do ficheiro, esta leitura favorece particularmente várias ericáceas e alguns matos lenhosos de baixa cinza, como a *Erica australis*, a *Erica arborea*, a *Erica umbellata* e o *Pterospartum tridentatum*. No grupo arbóreo, o *Pinus pinaster* destaca-se pela combinação entre baixo teor de cinzas, teor de carbono relativamente elevado e carbono fixo superior ao das restantes espécies do grupo, sendo uma matéria-prima tecnicamente interessante para carbonização.

Numa lógica de sequestro de carbono, importa sobretudo a capacidade de converter biomassa residual dispersa num material carbonoso estável. Ainda que o ficheiro não permita quantificar diretamente o rendimento ou a estabilidade do biochar, os teores de carbono e de carbono fixo indicam que vários matos lenhosos podem ser valorizados por esta via, criando um produto de maior densidade de carbono e maior facilidade de armazenamento e transporte. Esta leitura é particularmente relevante quando a gestão do território implica remoção de carga combustível e aproveitamento local de biomassa que, de outra forma, teria baixo valor económico à origem.

Quanto à utilização do biochar como remediador ou melhorador de solos, os dados disponíveis aconselham uma leitura prudente e casuística. A fração mineral pode ser vantajosa em algumas aplicações, mas a composição metálica da biomassa de partida deve ser sempre considerada. O ficheiro mostra que algumas espécies apresentam concentrações mais elevadas de certos elementos, o que não permite, por si só, concluir sobre a conformidade do biochar final, mas justifica controlo analítico específico sempre que o destino previsto seja a aplicação no solo.

No conjunto analisado, o *Cistus populifolius*, o *Halimium lasianthum* e o *Ilex aquifolium* destacam-se por valores relativamente mais elevados em alguns elementos minoritários, enquanto o *Ailanthus altissima* merece atenção particular pelos valores de Cr e Ni observados no material original. As podas de vinha apresentam, em geral, um perfil metálico mais moderado do que os casos mais críticos identificados no ficheiro, mas também neste caso a decisão de aplicação do biochar ao solo deve assentar em verificação analítica do produto final e no enquadramento normativo aplicável.

TABELA 4.
Biomassas que justificam maior prudência analítica quando o biochar se destina à aplicação no solo.

| Biomassa | As (mg/kg) | Cd (mg/kg) | Cr (mg/kg) | Ni (mg/kg) | Pb (mg/kg) | Zn (mg/kg) |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| <i>Cistus populifolius</i> | 4.65 | 1 | 4.78 | 5.69 | 2.85 | 104.84 |
| <i>Halimium lasianthum</i> | 4.19 | 0.69 | 1.93 | 7.76 | 3.63 | 89.07 |
| <i>Ilex aquifolium</i> | 4.85 | 0.78 | 1.06 | 0.63 | 0.46 | 144.36 |
| <i>Ailanthus altissima</i> | 1.55 | 0.18 | 16.46 | 10.36 | 3.23 | 24.58 |
| Podas de vinha | 0.73 | 0.44 | 0.29 | 0.39 | 0.16 | 35.81 |



MODELOS DE VALORIZAÇÃO ENERGÉTICA

A conversão de biomassa residual em energia constitui uma via consolidada para a redução da dependência de combustíveis fósseis e para a valorização económica dos recursos florestais. No contexto específico dos baldios, propõem-se quatro modelos que variam desde a base estritamente comunitária até à integração em cadeias de valor de mercado de âmbito nacional e internacional.

LENHA SOLIDÁRIA: MODELO COMUNITÁRIO DE DISTRIBUIÇÃO

O modelo de "Lenha Solidária" assenta numa lógica de economia social e circular, onde a biomassa lenhosa resultante das operações de limpeza, desbaste e gestão florestal dos baldios é processada e distribuída no seio da própria comunidade. Este modelo prioriza a satisfação das necessidades energéticas locais, nomeadamente para aquecimento doméstico durante os meses de inverno, mitigando a pobreza energética em territórios frequentemente caracterizados por vulnerabilidades socioeconómicas e invernos rigorosos.

A operacionalização deste modelo requer a organização da comunidade local, frequentemente liderada pelos Conselhos Diretivos de Baldios em articulação com as Juntas de Freguesia. O processo envolve a recolha da madeira no terreno, o seu transporte para um estaleiro comunitário, o corte à medida, o rachamento, a secagem e o armazenamento adequado. A distribuição pode ser efetuada a título gratuito para agregados familiares carenciados, idosos isolados ou instituições de solidariedade social locais. Alternativamente, pode ser disponibilizada aos restantes compartimentos mediante o pagamento de um valor simbólico que cubra estritamente os custos operacionais de maquinaria e mão de obra.

Do ponto de vista técnico, é imperativo que a lenha atinja um teor de humidade adequado (inferior a 20%) antes da combustão. A queima de lenha verde ou húmida reduz drasticamente a eficiência energética e aumenta exponencialmente a emissão de partículas finas e gases poluentes, prejudicando a qualidade do ar local. Este modelo, para além dos benefícios económicos e ambientais, reforça o sentimento de pertença, a entreatajuda e a coesão comunitária, demonstrando de forma tangível os benefícios diretos da gestão ativa e partilhada dos baldios para a população residente.

VENDA DE LENHA NUMA PERSPETIVA DE MERCADO

Em complementaridade ao modelo solidário, a fração de biomassa lenhosa com aptidão para lenha de qualidade superior pode ser comercializada para fora da comunidade, inserindo-se numa perspetiva de mercado aberto. Este modelo visa a geração de receitas financeiras diretas para as entidades gestoras dos baldios, as quais podem e devem ser reinvestidas na manutenção da própria floresta, na beneficiação de infraestruturas locais (caminhos florestais, pontos de água) ou no apoio a outras atividades de interesse comunitário.

A viabilidade e rentabilidade deste modelo dependem da estruturação de uma cadeia logística eficiente e profissionalizada, que englobe a extração cuidadosa, o processamento mecanizado (corte e rachamento), a secagem controlada e o transporte. A comercialização pode ser direcionada para consumidores finais em centros urbanos adjacentes ou de maior dimensão, onde a procura por lenha para lareiras, recuperadores de calor e salamandras se mantém elevada e disposta a pagar um prémio por qualidade. Alternativamente, a venda pode ser feita a intermediários e revendedores estabelecidos.

Para maximizar o valor acrescentado, é fundamental garantir a qualidade e a padronização do produto. Isto implica a segregação rigorosa das espécies florestais, valorizando as folhosas de maior densidade energética e combustão lenta, como o carvalho, o sobreiro ou o azinho, face às resinosas como o pinheiro. A certificação do grau de secagem e a apresentação em embalagens padronizadas (paletes ou sacos) aumentam a atratividade comercial. A criação de uma marca identitária associada à origem sustentável e comunitária da lenha (por exemplo, "Lenha dos Baldios do Alto Minho") pode constituir um fator decisivo de diferenciação e valorização num mercado frequentemente marcado pela informalidade.

VENDA DE BIOMASSA LENHOSA RESIDUAL PARA CENTRAIS DE BIOMASSA

A fração da biomassa residual que não apresenta características dimensionais ou qualitativas adequadas para a produção de lenha comercial (ramos finos, bicadas, cepos, sobrantes de desbastes precoces e matos resultantes de limpezas) pode ser encaminhada para centrais termoelétricas dedicadas à produção de energia elétrica ou térmica a partir de biomassa. Portugal dispõe de uma rede consolidada de centrais de biomassa, predominantemente localizadas a norte do rio Tejo e frequentemente associadas a complexos industriais do setor da pasta e papel, ou de aglomerados de madeira, que representam uma procura constante e em grande escala por esta tipologia de combustível.

Este modelo pressupõe operações mecanizadas de recolha, o destroçamento (produção de estilha florestal) no próprio local de corte ou em parques intermédios de consolidação, e o transporte a granel em camiões para as centrais. A escala comunitária de um único baldio pode ser um fator limitante para justificar o investimento em maquinaria pesada (destroçadores industriais), pelo que a agregação da oferta de várias comunidades vizinhas ou a contratualização com empresas especializadas de prestação de serviços florestais revela-se frequentemente a via mais racional para garantir a viabilidade económica da operação.

Embora o valor unitário pago pela tonelada de biomassa para centrais seja tendencialmente inferior ao da lenha ou da rolaria, este modelo é de importância vital. Permite o escoamento eficiente de grandes volumes de material de baixo valor comercial que, de outra forma, permaneceriam no terreno. Cumpre assim o objetivo primordial de redução drástica da carga combustível, mitigando o risco de incêndios rurais catastróficos. A proximidade geográfica entre as áreas de baldio e as centrais de biomassa é um fator crítico de sucesso, dado que os custos de transporte incidem significativamente sobre a rentabilidade de um produto de baixo valor acrescentado.

VENDA DE ROLARIA PARA PRODUÇÃO DE PELLETS DE BIOMASSA

A indústria de pellets de madeira tem registado um crescimento expressivo e sustentado em Portugal, posicionando o país entre os principais produtores e exportadores europeus destas "lenhas compactadas". Os pellets são biocombustíveis sólidos de formato cilíndrico, produzidos através da compressão a alta pressão de biomassa lenhosa finamente triturada e seca. Apresentam elevada densidade energética, baixo teor de humidade, facilidade de manuseamento automatizado e combustão altamente eficiente e limpa.

O modelo de venda de rolaria para a indústria de pellets representa uma via de valorização intermédia e altamente atrativa entre a lenha tradicional e a biomassa para estilha. A rolaria consiste em troncos de pequeno diâmetro resultantes de desbastes silviculturais ou de arvoredo sem aptidão dimensional ou qualitativa para a indústria de serração. As fábricas de pellets exigem matéria-prima com características específicas e homogéneas, preferencialmente madeira de resinosas (como o pinheiro-bravo) descascada ou com baixo teor de casca, de modo a garantir a qualidade do produto final, nomeadamente um baixo teor de cinzas após a combustão.

Para as comunidades gestoras de baldios, a adoção deste modelo implica a seleção criteriosa e o corte da rolaria com as dimensões exatas exigidas pela indústria transformadora, seguida do transporte logístico para as unidades fabris. A inserção nesta cadeia de valor industrial permite obter uma remuneração substancialmente superior à da biomassa para estilha, contribuindo de forma decisiva para a viabilidade económica das operações de silvicultura preventiva e de condução dos povoamentos florestais, que de outra forma representariam apenas um custo para a entidade gestora.



MODELOS DE FERTILIZAÇÃO E REMEDIAÇÃO DE SOLOS

A aplicação da biomassa residual no solo, quer na sua forma original quer após processamento térmico avançado, constitui uma estratégia fundamental para a conservação da fertilidade edáfica, o sequestro de carbono a longo prazo e a remediação ambiental de áreas degradadas.

PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DE BIOCHAR

O biochar (ou biocarvão) é um material sólido, altamente poroso e excepcionalmente rico em carbono, obtido através da pirólise da biomassa. A pirólise é um processo de decomposição termoquímica que ocorre a altas temperaturas (tipicamente entre 300°C e 700°C) num ambiente com escassez ou total ausência de oxigénio. A utilização das biomassas lenhosas sobranes dos baldios (ramos, bicadas, cepos e matos lenhosos) para a produção de biochar apresenta-se como um modelo de elevada inovação tecnológica e enorme potencial agronómico e ambiental.

A aplicação de biochar no solo atua como um corretivo orgânico de extraordinária longevidade. Devido à sua estrutura molecular altamente recalcitrante (composta por anéis aromáticos condensados), o biochar resiste tenazmente à degradação microbiana. Esta característica permite o sequestro efetivo de carbono no solo por períodos que variam de centenas a milhares de anos, retirando ativamente CO₂ da atmosfera e contribuindo de forma mensurável para a mitigação das alterações climáticas. Estudos científicos recentes indicam que o potencial global de sequestro de carbono do biochar no solo varia entre 0,7 e 1,8 Gt CO₂-eq por ano.

Para além do papel crucial no sequestro de carbono, o biochar melhora significativamente as propriedades físico-químicas e biológicas do solo. A sua elevada porosidade microscópica e vasta área superficial aumentam drasticamente a capacidade de retenção de água e de nutrientes essenciais, reduzindo as perdas por lixiviação para os lençóis freáticos e diminuindo a necessidade de aplicação de fertilizantes minerais sintéticos. Adicionalmente, o biochar possui uma elevada capacidade de troca catiónica e atua como um habitat ideal para a proliferação de microrganismos benéficos ao solo.

Esta capacidade de adsorção confere ao biochar um notável potencial para a remediação de solos contaminados ou degradados. O biochar consegue imobilizar eficazmente elementos nocivos, como metais

pesados (chumbo, cádmio, zinco, cobre) e poluentes orgânicos persistentes, reduzindo a sua biodisponibilidade e toxicidade para as plantas e prevenindo a contaminação dos ecossistemas aquáticos adjacentes.

A produção de biochar à escala comunitária pode ser viabilizada através da utilização de estruturas amovíveis de carbonização instaladas diretamente no local de corte da biomassa, como sucede com o chamado *Pennsylvania Pyramid Kiln*. Este equipamento corresponde, em termos construtivos, a uma estrutura metálica simples, desmontável e relativamente leve, formada por placas de aço aparafusadas entre si, com geometria de pirâmide invertida. A sua configuração permite transporte, montagem no terreno e utilização em contexto florestal ou agrícola, sem necessidade de uma infraestrutura industrial fixa, o que o torna particularmente adequado para operações descentralizadas de valorização de sobranes lenhosos.

O funcionamento do sistema assenta num processo de carbonização parcial da biomassa em condições de oxigénio limitado nas camadas inferiores, embora exista combustão mais ativa na zona superior. Na prática, o forno é colocado sobre solo mineral ou sobre uma base não combustível, assegurando-se a vedação da base com terra compactada para reduzir a entrada de ar pela parte inferior. O arranque é feito com pequenos ramos e material de fácil ignição, após o que a biomassa lenhosa vai sendo introduzida progressivamente pela abertura superior. A forma invertida da estrutura favorece o pré-aquecimento e a secagem do material ao longo das paredes inclinadas, enquanto a fração mais superficial arde numa zona mais rica em oxigénio. À medida que a madeira aquece, liberta compostos voláteis que alimentam a chama na parte superior; simultaneamente, o material mais abaixo vai carbonizando e transformando-se em carvão, ficando mais protegido da combustão total devido à menor disponibilidade de oxigénio. Segundo a descrição do próprio sistema, esta lógica permite reduzir o fumo e evitar que uma parte significativa do carvão já formado continue a arder.



DEPOSIÇÃO DIRETA DE BIOMASSA NO SOLO

Do ponto de vista operacional, trata-se de uma solução ajustada à conversão in situ de resíduos florestais ou agrícolas, sobretudo quando a biomassa apresenta baixo valor econômico à origem e custos logísticos elevados de transporte. Em vez de deslocar grandes volumes de material lenhoso com baixa densidade aparente para uma unidade central, procede-se à sua transformação no próprio local, reduzindo o volume a transportar e concentrando o carbono num produto sólido mais estável e mais facilmente manuseável. Este racional está alinhado com a literatura sobre pequenos fornos móveis e sistemas artesanais de produção descentralizada de biochar, os quais têm sido apontados como opções viáveis para pequenos e médios utilizadores, precisamente por favorecerem a descentralização do processo e a adaptação às condições locais.

Neste enquadramento, o objetivo principal deixa de ser a produção integrada de energia e passa a ser a obtenção de biochar como produto central da operação. Ao contrário de sistemas industriais de pirólise mais complexos, neste tipo de solução não se prevê a recuperação dedicada do bio-óleo nem o aproveitamento tecnológico dos gases gerados. Os compostos voláteis libertados durante o aquecimento participam sobretudo na manutenção da chama e na progressão da carbonização, mas não são captados para usos energéticos externos ou para cogeração. Assim, a lógica do processo é deliberadamente mais simples: converter biomassa residual em biochar no próprio terreno, com um nível reduzido de exigência tecnológica, menor investimento inicial e maior adaptabilidade a operações locais, ainda que com menor controlo processual e, em regra, com menor sofisticação energética do que sistemas retorta ou instalações industriais de pirólise. A literatura de revisão sobre pequenos fornos de biochar mostra precisamente que estes equipamentos são valorizados pela simplicidade, baixo custo e facilidade de construção e operação, embora apresentem limitações em termos de controlo fino do processo, perdas térmicas mais elevadas e variabilidade do rendimento e da qualidade do produto final.

Em termos práticos, após se atingir o grau de carbonização pretendido, a operação pode ser encerrada interrompendo a alimentação de biomassa e deixando o sistema extinguir-se naturalmente, ou recorrendo a extinção controlada, por exemplo com água, de modo a evitar que o carvão continue a oxidar e se converta em cinza. Segue-se uma fase de arrefecimento e verificação da ausência de brasas, fundamental para garantir a segurança da operação e a conservação do produto obtido. O resultado é um material carbonoso estável, potencialmente utilizável para valorização agronómica, melhoria do solo ou outras aplicações locais compatíveis com as suas características.

O segundo modelo de base edáfica, mais simples do ponto de vista tecnológico, consiste na deposição direta da biomassa lenhosa residual no solo florestal, sem qualquer processamento térmico prévio. Esta prática, frequentemente concretizada através do estilhaçamento ou trituração mecânica dos sobrantes (ramos finos, folhagem e casca) e do seu espalhamento homogéneo sobre o terreno, procura mimetizar e acelerar os processos naturais de ciclagem de nutrientes inerentes aos ecossistemas florestais saudáveis.

A deposição de resíduos lenhosos triturados atua como uma camada protetora física (mulch) sobre o solo mineral. Esta cobertura atenua as variações extremas de temperatura do solo, reduz significativamente a evaporação da água retida, mantendo a humidade edáfica durante os períodos de estio, e protege a superfície contra a erosão hídrica provocada pelo impacto das gotas de chuva e contra a erosão eólica. À medida que a biomassa se decompõe gradualmente pela ação de fungos decompositores e bactérias, ocorre a libertação lenta e sustentada de macro e micronutrientes (nitrogénio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio) que são reincorporados no ciclo biológico, promovendo a fertilidade natural do solo e sustentando a produtividade a longo prazo do povoamento florestal.

Do ponto de vista da dinâmica do ciclo do carbono, a incorporação de resíduos lenhosos contribui para o aumento dos teores de matéria orgânica do solo. Embora a decomposição da biomassa não processada seja substancialmente mais rápida do que a do biochar, resultando na emissão de algum CO₂ a curto e médio prazo devido à respiração microbiana, uma fração significativa do carbono original é estabilizada sob a forma de compostos húmicos complexos, promovendo o sequestro de carbono no compartimento edáfico.

Este modelo apresenta a inegável vantagem de ter custos operacionais e logísticos reduzidos, uma vez que dispensa o transporte oneroso da biomassa para fora do local de corte e não requer investimentos em equipamentos de processamento térmico. Contudo, a sua implementação exige um planeamento técnico rigoroso para evitar a acumulação excessiva de material combustível contínuo sobre o solo, o que poderia agravar severamente o risco e a intensidade de um eventual incêndio florestal. A trituração mecânica fina e a distribuição dispersa e homogénea dos resíduos são práticas silviculturais estritamente recomendadas para acelerar a taxa de decomposição, promover a incorporação no solo mineral e minimizar o perigo de ignição.






CONCLUSÃO

A gestão sustentável e resiliente dos baldios exige a adoção de abordagens integradas e multifuncionais que consigam conciliar o imperativo da prevenção de incêndios rurais com a criação efetiva de valor económico, social e ambiental. Os seis modelos de valorização da biomassa residual apresentados e caracterizados no âmbito da Ação 7.6 do projeto Bem Comum demonstram, de forma inequívoca, a viabilidade técnica e o potencial estratégico de transformar um passivo florestal (o risco de incêndio associado à acumulação de sobrantes) num ativo valioso para as comunidades locais.

Os modelos focados na valorização energética (Lenha Solidária, venda de lenha em mercado, fornecimento de centrais de biomassa e produção de rolaria para pellets) oferecem um leque de soluções diversificadas. Estas opções adaptam-se a diferentes tipologias e qualidades de biomassa, bem como a distintos contextos de mercado e capacidades de investimento local, promovendo a autonomia energética das populações e a geração de receitas vitais para a gestão do território.

Por seu turno, os modelos orientados para a aplicação no solo (produção de biochar e deposição direta de sobrantes triturados) asseguram a manutenção e o reforço da capacidade produtiva dos ecossistemas florestais. Garantem o sequestro de carbono a longo prazo, alinhando-se com as metas climáticas globais, e oferecem soluções inovadoras para a remediação ambiental e a conservação da água e do solo.

A adoção bem-sucedida destes modelos à escala comunitária não é isenta de desafios. Requer um esforço contínuo de capacitação técnica dos compartos e gestores, investimento em equipamentos adequados e, fundamentalmente, o fortalecimento das redes de cooperação e associativismo entre as entidades gestoras dos baldios, as instituições de ensino superior e investigação, e o tecido empresarial regional. A implementação articulada destas propostas contribuirá de forma decisiva para a resiliência dos territórios de montanha, para a fixação de populações e para a consolidação de uma verdadeira bioeconomia circular e de base local em Portugal.



FICHA TÉCNICA

TÍTULO

Relatório Técnico-Científico: Modelos de Valorização de Biomassa Residual dos Baldios à Escala Comunitária

PROJETO

BEM COMUM

Inovação e Cooperação na Gestão dos Baldios, para Potenciar a Bioeconomia, Sustentabilidade e Resiliência das Comunidades Rurais e da Agro-Silvo-Pastorícia

Referência 17/ C05-i03/2022 - PRR-C05-i03-I-000241

EDIÇÃO

Instituto Politécnico de Viana do Castelo

COORDENAÇÃO

Joana Nogueira

AUTOR

Leonel Alves

FINANCIAMENTO



2026



WWW.BEMCOMUM.ALTOMINHO.PT

COORDENAÇÃO



PARCEIROS



cim alto minho
comunidade intermunicipal do minho-lima



FINANCIADORES



PRR
Plano de Recuperação
e Resiliência



**REPÚBLICA
PORTUGUESA**



Financiado pela
União Europeia
NextGenerationEU