

XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HIDRÍCOS

PROJETOS SOLARES BIOMIMÉTICOS

Jose Angel Sola Arbeloa ¹

Abstract: This paper introduces a biomimetic methodology for the design and construction of photovoltaic plants in rural areas that minimizes environmental impacts and reduces costs. Unlike conventional solar layouts that impose orthogonal geometries onto natural landscapes, the biomimetic approach integrates hydrological and topographical data to align infrastructure with natural water flow and terrain features. By mimicking the branching patterns found in nature, such as river basins and trees, the methodology reduces the need for artificial drainage, minimizes erosion, and preserves soil and water bodies. Comparative studies conducted between 2020 and 2025 across five countries demonstrated that biomimetic projects not only enhance environmental performance but also can increase energy generation potential and reduce construction costs. The results position biomimetic solar design as a technically and economically viable alternative for sustainable solar development.

Key-Words – Biomimetics, Hydrology, Photovoltaic Solar Energy.

Resumo: Este artigo apresenta uma metodologia biomimética para o projeto e construção de usinas fotovoltaicas em áreas rurais que minimiza os impactos ambientais e reduz os custos. Diferente dos layouts solares convencionais, que impõem geometrias ortogonais sobre a paisagem natural, a abordagem biomimética integra dados hidrológicos e topográficos para alinhar as infraestruturas com o escoamento natural das águas e as características do relevo. Ao imitar os padrões ramificados encontrados na natureza, como bacias hidrográficas e árvores, a metodologia reduz a necessidade de drenagem artificial, minimiza a erosão e preserva o solo e os corpos de água. Estudos comparativos realizados entre 2020 e 2025 em cinco países demonstraram que os projetos biomiméticos não apenas melhoram o desempenho ambiental, mas também podem aumentar o potencial de geração de energia e reduzir os custos de construção. Os resultados posicionam o design solar biomimético como uma alternativa técnica e economicamente viável para o desenvolvimento solar sustentável.

Palavras-Chave – Biomimética, Hidrologia, Energia Solar Fotovoltaica.

¹ Engenheiro Civil | Hydrology and Renewables Professional | joseangelsola@gmail.com

1. INTRODUÇÃO

No atual mercado de empresas de engenharia, observa-se uma inércia conceitual na elaboração de projetos fotovoltaicos, cujo enfoque industrial conflita frequentemente com seu entorno rural.

Para maximizar sua exposição ao sol, as estruturas fotovoltaicas precisam ser orientadas na direção norte-sul. É comum, portanto, que as ruas internas das usinas solares sejam paralelas ou perpendiculares a essa direção, sempre em dependência dos arranjos eletromecânicos.

Os arranjos eletromecânicos convencionais, habitualmente gerados por softwares automáticos, visam apenas otimizar a ocupação fotovoltaica da área disponível, sem prever os impactos ambientais ou as dificuldades construtivas dos acessos transversais resultantes.

Subindo e descendo, ao cruzar terrenos ondulados, esses caminhos retilíneos concentram artificialmente o escoamento superficial das chuvas. A água, ganhando velocidade nas drenagens de proteção revestidas em concreto, demora menos para se concentrar nas saídas naturais.

Paralelamente, durante as obras de construção, a retirada da cobertura vegetal do solo diminui a capacidade de retenção e infiltração das chuvas, incrementando o volume da água escoada superficialmente e a possibilidade de arraste e sedimentação dos solos expostos.

Como resultado desses fatores alterados, o risco hidrogeológico dos projetos solares aumenta substancialmente, sendo facilitada a ocorrência de processos erosivos e contaminação de cursos de água, com impactos negativos em comunidades locais, flora e fauna, assim como outros problemas de índole econômica e legal.

Alternativamente, a metodologia biomimética para projetos solares preconiza que, junto com os requerimentos eletromecânicos, o layout da infraestrutura deve incorporar a hidrografia específica do terreno existente. De maneira orgânica, as rotas elétricas e vias internas devem ser projetadas para, simultaneamente, possibilitar uma circulação eficiente e, sempre que possível, evitar cruzamentos com cursos de água ou alterações agressivas do escoamento superficial natural.

De 2020 a 2025, foram realizados estudos comparativos entre 12 projetos fotovoltaicos convencionais e suas correspondentes versões biomiméticas, totalizando mais de um gigawatt de potência de geração em projetos desenvolvidos no Brasil, Colômbia, Chile, Espanha e Itália.

De acordo com os estudos, as versões biomiméticas apresentaram menores riscos ambientais, principalmente como consequência da diminuição ou até ausência de drenagens estruturais. Indo além, o design natural dos projetos biomiméticos permitiu, frequentemente, aumentar a capacidade de geração elétrica, reduzir o comprimento total das vias internas e evitar interferências entre redes.

Os objetivos deste trabalho são, finalmente, explicar e divulgar os fundamentos da metodologia biomimética, visando projetos solares mais integrados no meio ambiente, e oferecer, ao mesmo tempo, oportunidades competitivas para as empresas responsáveis pela sua implantação e operação.

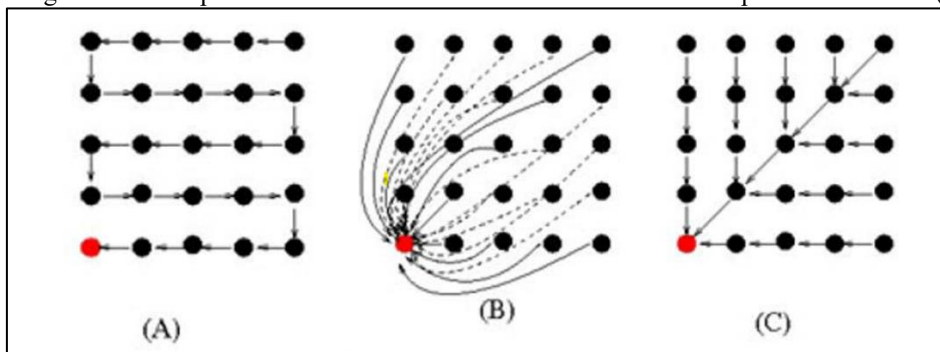
2. METODOLOGIA E RESULTADOS

2.1 Redes ortogonais e redes dendríticas

Na natureza, as redes de drenagem apresentam estruturas dendríticas hierarquizadas, ou seja, ramais de menor tamanho se agrupam em ramais coletores e, sucessivamente, criam uma forma semelhante à de uma árvore, originada pela ação da gravidade guiando a água sempre pelos trajetos mais íngremes. De forma análoga, as ramificações das árvores crescem contra a gravidade, adotando diâmetros incrementais nos galhos quanto maior o peso a ser suportado.

Giacometti (2009) comparou a eficiência de transporte de redes com trajetos ortogonais agrupados (A), redes com trajetos diretos individuais (B), e redes com estrutura de árvore (C) conforme representado na (Figura 1). Em relação à mesma figura, Giacometti comenta: “*Uma estrutura semelhante a uma árvore é então uma estrutura eficiente (a mais eficiente, na verdade!) para transportar matéria (ou energia) de uma fonte estendida (os pontos pretos) para uma única saída (o ponto vermelho)*”.

Figura 1 – Exemplos de estruturas com diferente eficiência de transporte. Giacometti (2000).



Essa afirmação inspira e sustenta a abordagem biomimética para projetos solares, determinando que, para o transporte de energia, formas naturais podem ser mais econômicas do que as puramente industriais (Figura 2).

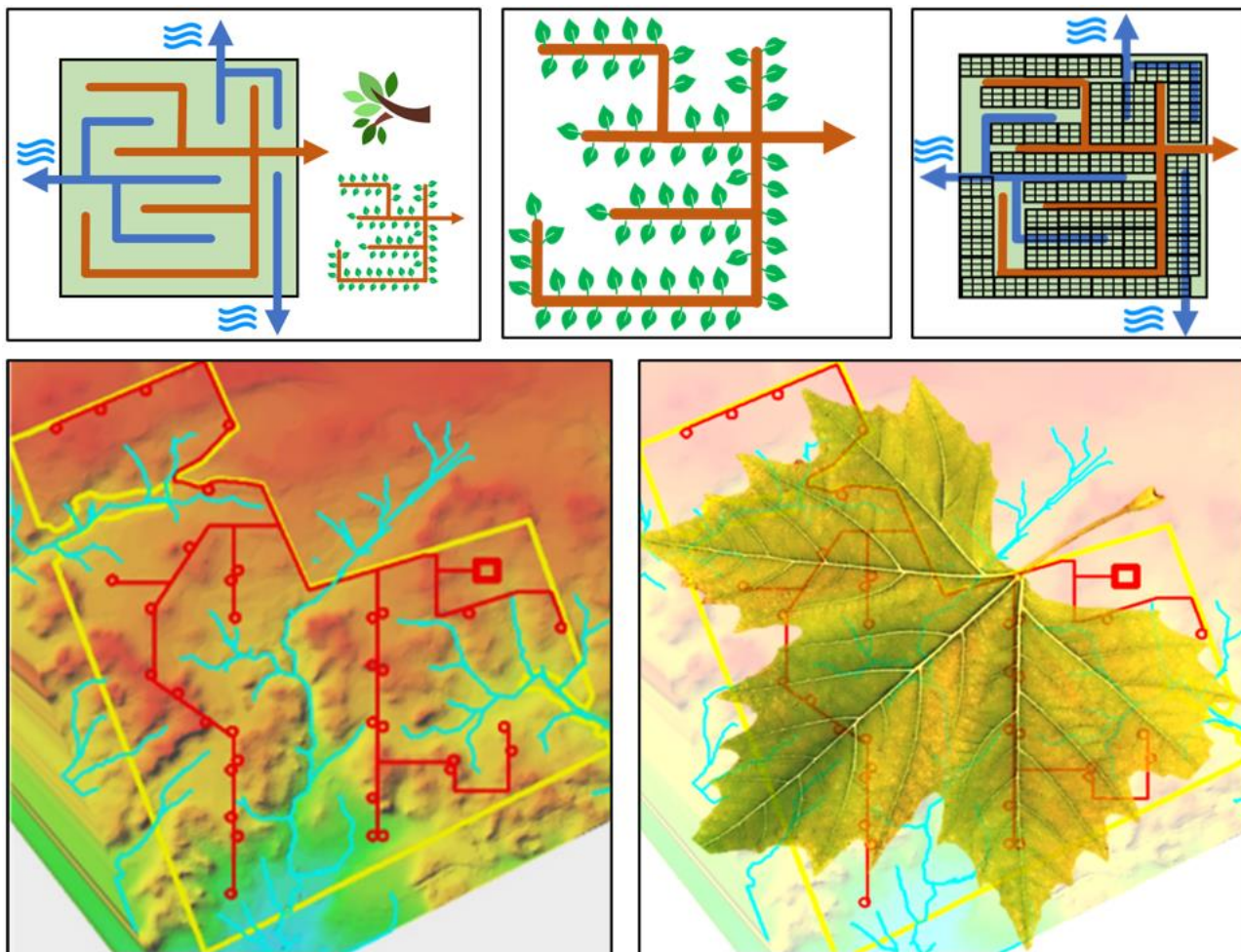
Figura 2 – Semelhança visual e estrutural entre rios, árvores, folhas e raios elétricos.



2.2 Fundamentos biomiméticos

O princípio fundamental dos projetos solares biomiméticos reside na definição de arranjos elétricos ramificados com sentidos de avanço inversos aos das redes hídricas adjacentes. Ou seja, projetar de modo que acessos e componentes elétricos sejam localizados, sempre que possível, nas áreas mais seguras desde o ponto de vista da drenagem natural (Figura 3).

Figura 3 – As estruturas em árvore criadas pelo relevo ajudam a otimizar os projetos solares rurais.



Ao aplicar esse princípio biomimético, as redes elétricas resultantes, encaixadas entre os ramais das redes hidrográficas, favorecem a coincidência dos acessos internos com os divisores de águas (Figuras 3, 4, 5 e 6). Desse modo, a necessidade de drenagens estruturais para proteção de acessos ou cruzamentos de cursos de água diminui drasticamente.

Frequentemente, devido à sua geometria pseudofractal (Mandelbrot, 1982), os arranjos fotovoltaicos biomiméticos conseguem encaixar, na mesma área de implantação de um projeto convencional, uma maior quantidade de equipamentos, aumentando nesses casos a capacidade de geração elétrica instalada.

Além de evitar interferências e sobreposições entre redes, as simplificações dos traçados de acessos e valas elétricas reduzem a obra civil. As atividades de implantação e manutenção são adicionalmente favorecidas pela queda quantitativa de eletrodutos soterrados para cruzamentos, o que também diminui a incidência de roedores e insetos.

Criam-se, em resumo, projetos solares com formatos estruturantes mais naturais e econômicos.

Figura 4 – Imagens comparativas de um layout solar convencional (esquerda) e sua versão biomimética (direita). Os traços em azul representam cursos de água naturais. Nos projetos biomiméticos, os acessos, eletrocentros e cabos de media tensão (vermelho) são localizados em áreas elevadas, protegidas de inundações e erosões.

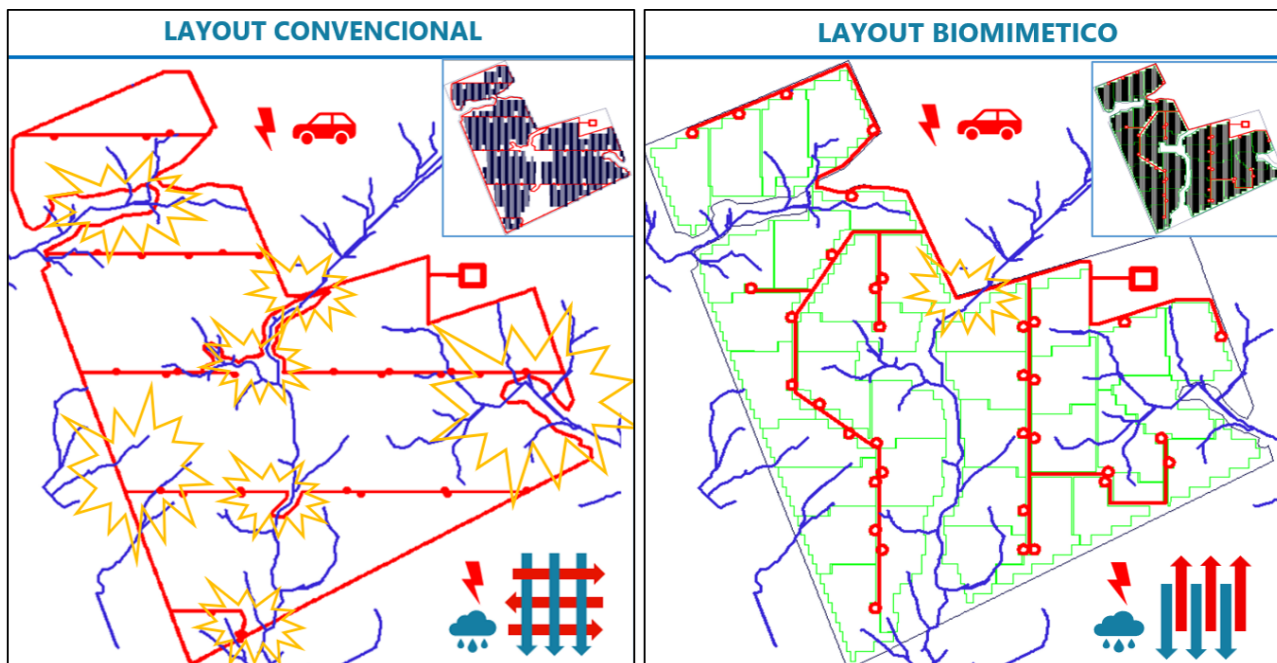


Figura 5 – Layout biomimético com arranjo eletromecânico (verde) e acessos (laranja/amarelo) adaptados à hidrografia local para otimizar o uso da área, encurtar rotas e evitar interferências com o escoamento natural.

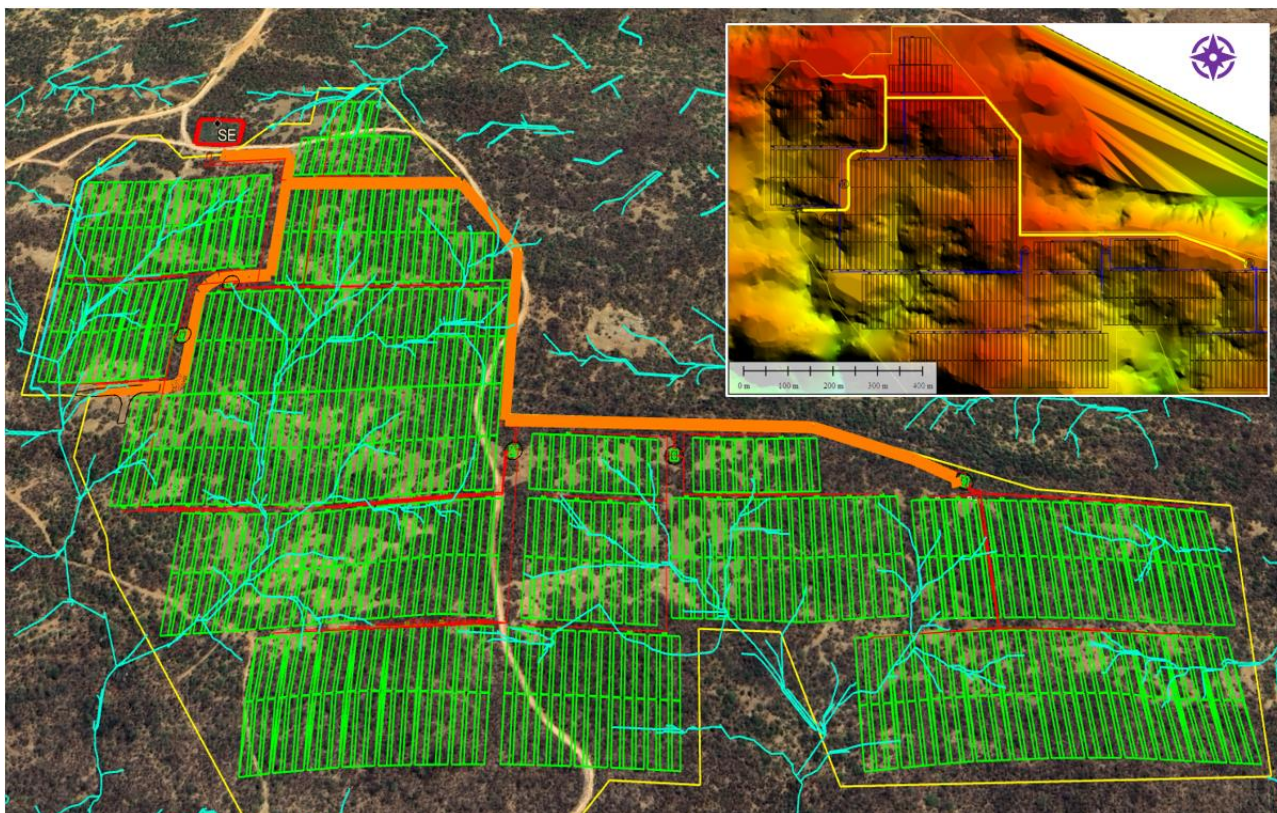
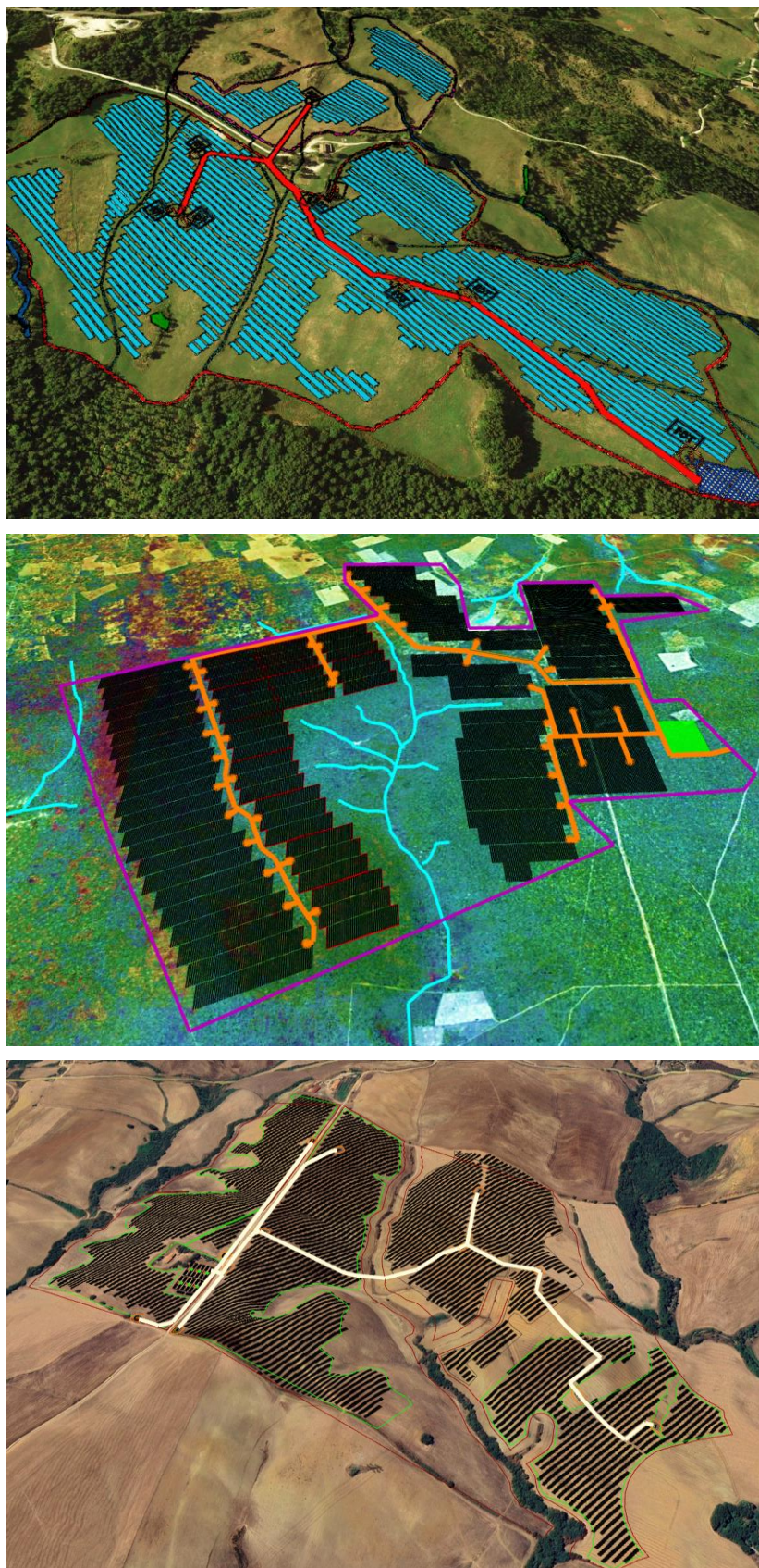


Figura 6 – Exemplos ilustrativos de projetos solares desenvolvidos com a metodologia biomimética.



2.3 Acessos biomiméticos para conservação do solo

Junto com o uso estratégico dos divisores de águas, a metodologia biomimética contempla a incorporação de curvas no layout dos projetos solares. O terraceamento baseado nas curvas de nível é uma prática agrícola tradicional para conservação do solo. Configurações que aplicam essa técnica podem ser particularmente benéficas para grandes usinas em terrenos pouco ondulados.

Implantando os acessos principais a modo de terraços agrícolas (Figura 7), é possível subdividir regularmente as áreas e controlar o comportamento das águas pluviais, permitindo dispensar igualmente os revestimentos de concreto nos percursos da drenagem.

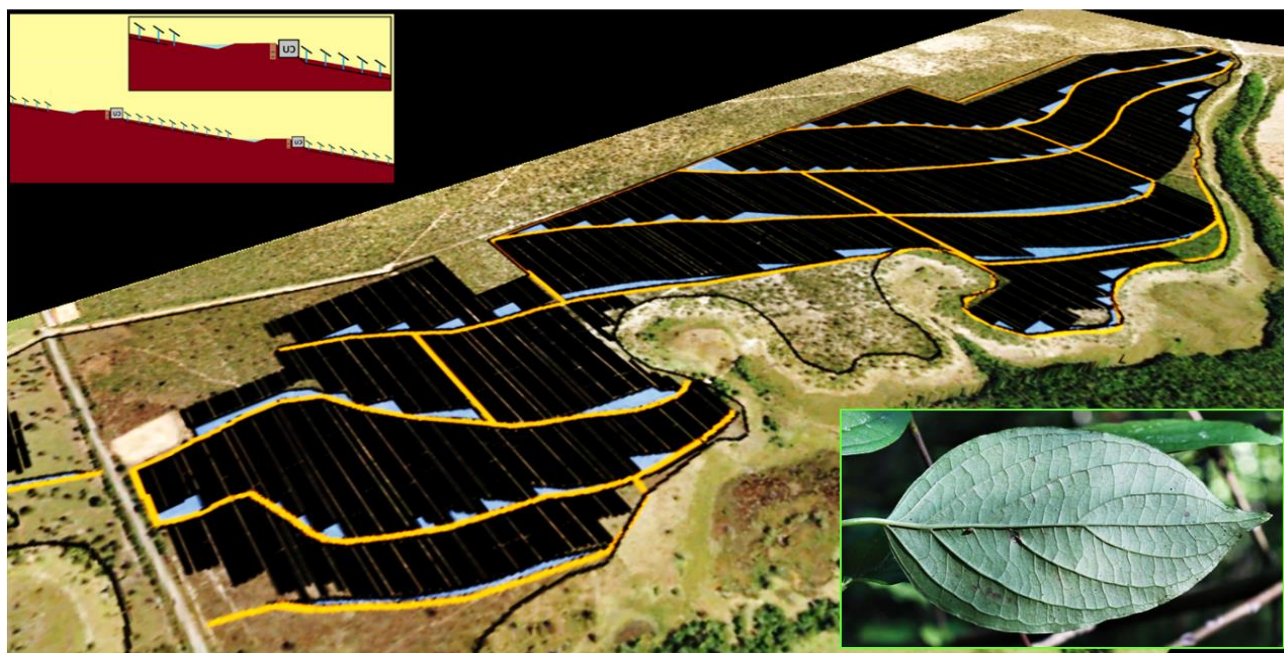
Figura 7 – Disposição e funcionamento de terraços agrícolas em curvas de nível.



Barrando e desviando lateralmente o escoamento da chuva, os acessos em curvas de nível protegem os equipamentos elétricos coletores, implantados do lado contrário às águas (Figura 8). Pelo mesmo motivo, ganha-se um efeito de conservação do solo e são possibilitadas rotas mais curtas e seguras.

Sem espaço para instalações, as pequenas áreas remanescentes podem ser adequadas e aproveitadas como microbacias de acúmulo para infiltração e evaporação das chuvas, evitando canalizar o escoamento em direção aos corpos de água e, habitualmente, construir grandes bacias y sistemas de amortecimento para sua proteção.

Figura 8 – Imagem ilustrativa de projeto solar biomimético com acessos internos em curvas de nível.



2.4 Supressão vegetal biomimética

A implantação dos projetos solares começa normalmente pela supressão vegetal, cuja finalidade é possibilitar trabalhos topográficos, nivelamentos e implantação das estruturas. Um planejamento cuidadoso nessa fase é crucial para prevenir impactos ambientais durante e após a construção.

Frequentemente, desconhecendo a sua importância, os acessos auxiliares para a supressão vegetal tendem a demarcar áreas retangulares, partindo intuitivamente dos limites da parcela ou das vias projetadas, sem levar em consideração a inclinação do terreno.

Durante as operações, esses acessos provisórios são constantemente raspados e compactados pela passagem das máquinas. Posteriormente, de maneira imprevisível, essas pistas degradadas podem, sob ação das chuvas e pelo desnível do terreno, concentrar o escoamento e dar início a processos erosivos e arraste de sedimentos.

Indistintamente do tipo de projeto, seja convencional ou biomimético, é fundamental que os acessos auxiliares na fase de supressão vegetal sejam marcados topograficamente para acompanhar as curvas de nível do terreno natural. Assim, as leiras de massa vegetal e expurgo, ficando paralelas aos acessos, irão definir novas trilhas horizontais para seu carregamento (Figura 9).

Aplicando essa técnica, as marcas deixadas passivamente pelo maquinário se comportam como micro terraços agrícolas, retendo e distribuindo lateralmente a água (Figura 9). A evaporação e a infiltração são favorecidas e evita-se a formação de sulcos erosivos que dão origem às perdas de solo.

Além de um menor impacto ambiental, a supressão vegetal com acessos auxiliares em curvas de nível de nível possibilita rotas melhor distribuídas e niveladas, aumentando a eficiência e segurança do transporte e das obras, em linha com o enfoque biomimético.

Figura 9 – Supressão vegetal realizada corretamente, mediante acessos auxiliares em curvas de nível.



Vale a pena lembrar que a massa vegetal e os solos orgânicos resultantes da supressão são, por si mesmos, recursos valiosos para as obras e para o meio ambiente. Toras, galhos e expurgo são materiais nobres que, sempre que possível, devem ser reutilizados como elementos de proteção nos planos de recuperação de áreas degradadas (PRAD), principalmente quando houver risco de afetação a corpos hídricos e ecossistemas naturais.

3. CONCLUSÕES

Popularmente, entende-se que qualquer projeto de construção tende a encarecer e trazer complicações quando se opta por formatos diferentes dos comumente aplicados. No caso dos projetos solares, é quase contraintuitivo pensar em uma solução mais simples e econômica do que desenhar e construir áreas retangulares e acessos transversais para implantar componentes industriais modulares.

Entretanto, os argumentos técnicos e os estudos comparativos realizados provam que diversas vantagens emergem quando as geometrias dos projetos fotovoltaicos se adaptam às formas do relevo natural e sua hidrografia.

Dentre essas vantagens, a conservação do solo e a preservação de corpos hídricos e ecossistemas são valiosíssimos benefícios ambientais aportados de maneira imediata.

Além disso, a eficiência geométrica de acessos e rotas de cabo, junto com a diminuição dos revestimentos em concreto, se traduzem em menores prazos e custos de construção. O transporte eficiente de menores quantidades de materiais industriais também gera economia e leva a uma importante redução das emissões diretas e indiretas de gases de efeito estufa.

A supressão vegetal deve ser realizada deixando os caminhos auxiliares e as leiras de expurgo alinhados com as curvas de nível. O planejamento e controle desse processo é fundamental para conservar o solo e evitar afetações a cursos de água, já desde o começo das obras.

Os projetos solares biomiméticos são uma solução holística, técnica e economicamente viável como alternativa aos projetos convencionais. O autor acredita que a metodologia apresentada marca um caminho a seguir para uma melhor integração dos projetos solares no meio ambiente.

Devido aos seus benefícios socioambientais e econômicos, os projetos solares biomiméticos oferecem oportunidades e estratégias competitivas para um desenvolvimento solar sustentável.

4. REFERÊNCIAS

GIACOMETTI, Achille (2009). *“River networks”*. Oxford: EOLSS Publishers. p. 124–147.

JOHNSON, Steven (2001). *“Sistemas emergentes: o que têm em comum formigas, neurônios, cidades e software”*. Madrid: Fundo de Cultura Econômica. 258p.

MANDELBROT, Benoît B (1982). *“A Geometria Fractal da Natureza”*. W.H. Freeman and Company. 460p.

AGRADECIMENTOS

O autor agradece a contribuição fundamental de Cesare Davide Andriani, a valiosa participação de Monique de Barros Melo Maia, o apoio de Bruno Marconi e a colaboração de todos os amigos e colegas de trabalho no Brasil, Colômbia, Chile, Espanha e Itália.