

Genoma Funcional Estendido (*Extended Functional Genotype*) e Microbiomas Ativos como infraestrutura biológica para sistemas agrícolas resilientes

HÉROS JOSÉ MAXIMO

Diretor Científico - bioXyz®

A evolução dos desafios exige uma nova ciência agrícola. Ela existe!

A agricultura sempre conviveu com incertezas. Entretanto, a intensidade, a frequência e a interação entre esses desafios nunca foram tão grandes quanto na atualidade.

O produtor rural passou a operar em um ambiente caracterizado por eventos climáticos extremos, alterações decorrentes de *El Niño* e *La Niña*, secas prolongadas, ondas de calor, chuvas intensas, instabilidade econômica, aumento dos custos de produção, oscilações cambiais, juros elevados, conflitos geopolíticos e constantes interrupções nas cadeias globais de suprimento. Esses fatores deixaram de ser eventos ocasionais e passaram a integrar o ambiente operacional da agricultura moderna.

Nesse cenário, produzir alimentos tornou-se significativamente mais

complexo. A produtividade continua sendo um objetivo central, mas já não depende exclusivamente do potencial genético das cultivares, da fertilidade do solo ou da eficiência dos insumos empregados. A capacidade de manter a estabilidade fisiológica das plantas e o funcionamento do sistema agrícola diante de sucessivos eventos de estresse tornou-se um dos principais diferenciais competitivos da produção moderna.

Essa realidade impõe uma mudança de paradigma. Durante décadas, a inovação agrícola concentrou-se no desenvolvimento de tecnologias voltadas para corrigir problemas específicos, como deficiência nutricional, ocorrência de doenças ou ataques de pragas. Embora essas ferramentas permaneçam indispensáveis, elas nem sempre são suficientes para enfrentar um ambiente em que múltiplos fatores atuam simultaneamente.

A ciência passou, então, a direcionar seus esforços para compreender como fortalecer o próprio sistema biológico, tornando-o mais eficiente, estável e resiliente antes mesmo que os estresses se manifestem.

É nesse contexto que os Microbiomas Ativos assumem papel estratégico. Mais do que uma alternativa tecnológica, representam uma nova forma de compreender e manejar a agricultura.

O Genoma Funcional Estendido: uma nova interpretação da planta

Os avanços da biologia molecular, da metagenômica, da transcriptômica, da metabolômica e das demais ciências ômicas transformaram profundamente a compreensão sobre o funcionamento das plantas. Durante décadas, assumiu-se que seu desempenho fisiológico era determinado exclusivamente pelo conjunto de genes presentes em seu próprio DNA. Hoje, essa visão é reconhecida como incompleta.

As plantas estabelecem relações permanentes, dinâmicas e altamente especializadas com comunidades microbianas que colonizam a rizosfera, a filosfera e os tecidos internos. Esses microrganismos expressam um amplo

repertório de genes funcionais cujos produtos – **proteínas efetoras, enzimas, metabólitos especializados, peptídeos sinalizadores, RNAs regulatórios, MAMPs (Microbe-Associated Molecular Patterns), elicitores, compostos orgânicos voláteis (VOCs) e diversas moléculas de comunicação molecular** – interagem continuamente com os processos fisiológicos da planta. Como consequência, o microbioma deixa de ser interpretado como um componente externo e passa a constituir uma unidade funcional integrada ao sistema biológico vegetal.

Essa integração sustenta o conceito de **Genoma Funcional Estendido (Extended Functional Genotype)**. Nessa perspectiva, o potencial biológico da planta não está restrito ao seu genoma nuclear, plastidial e mitocondrial, mas é ampliado pelo patrimônio funcional expresso pelo **microbioma associado**. O resultado é um sistema biológico capaz de executar funções metabólicas, fisiológicas e adaptativas que dificilmente seriam alcançadas pela planta isoladamente.

O Microbioma Ativo passa a atuar como uma **camada adicional** de formação biológica, expandindo o repertório funcional do hospedeiro por meio da modulação da expressão gênica, da ativação de vias metabólicas, da produção de moléculas bioativas e da comunicação molecular entre organismos. O fenótipo observado deixa de refletir apenas o genótipo da planta e passa a emergir das **interações entre o genoma vegetal, o microbioma e o ambiente**.

Essa interpretação modifica profundamente a forma de desenvolver tecnologias agrícolas. O objetivo deixa de ser simplesmente introduzir microrganismos no sistema produtivo e passa a ser implantar funções biológicas capazes de ampliar o desempenho do agroecossistema. O foco desloca-se dos organismos isolados para os mecanismos moleculares, metabólicos e ecológicos que eles executam.

Nesse contexto, a inovação deixa de ser baseada apenas em espécies

microbianas e passa a ser orientada pela engenharia de funções biológicas.

Fenótipo Estendido: quando o microbioma modifica o desempenho da planta

Se o Microbioma Ativo amplia o repertório funcional da planta, seus efeitos tornam-se evidentes na construção do fenótipo. Sob uma interpretação ampliada do conceito de **Fenótipo Estendido (Extended Phenotype)**, originalmente proposto por Richard Dawkins, o desempenho observado em campo deixa de refletir exclusivamente a expressão do genoma vegetal e passa a emergir das interações dinâmicas entre a planta, o Microbioma Ativo e o ambiente.

Nessa perspectiva, o fenótipo não representa apenas a manifestação dos genes da planta, mas o resultado integrado de redes moleculares, metabólicas e ecológicas estabelecidas com os microrganismos associados. O **Microbioma Ativo** atua como uma camada funcional adicional capaz de **modular vias de sinalização, reprogramar a expressão gênica, reorganizar o metabolismo e ampliar a plasticidade de fisiológica do sistema vegetal**.

Características como a arquitetura radicular, a eficiência na aquisição e no uso de nutrientes, o balanço hormonal, a fotossíntese, o metabolismo energético, o crescimento, o desenvolvimento, a imunidade, a tolerância a estresses bióticos e abióticos e a produtividade passam a refletir essa integração funcional. O **Microbioma Ativo** deixa, portanto, de exercer um papel acessório e passa a constituir um **componente ativo** na construção do fenótipo vegetal.

Essa modulação não se limita ao **priming fisiológico**, no qual sinais provenientes do **Microbioma Ativo** induzem um estado de prontidão metabólica antes da ocorrência de um estresse. Esses sistemas bioló-

gicos também promovem respostas imediatas, rápidas e específicas, capazes de regular continuamente processos relacionados ao crescimento, ao desenvolvimento, à nutrição, ao metabolismo energético, à fotossíntese, ao balanço hormonal, à arquitetura radicular, à absorção e ao uso de água e nutrientes, à defesa, à imunidade, ao florescimento, à frutificação, à produtividade e à adaptação às condições ambientais.

Esses efeitos são mediados pela **reprogramação dinâmica da expressão gênica**, da atividade enzimática e das redes metabólicas, bem como pela produção de metabólitos bioativos, peptídeos sinalizadores, proteínas efetoras, compostos orgânicos voláteis (VOCs), MAMPs, elicitores e diversas moléculas de comunicação molecular, o que permite **respostas fisiológicas mais rápidas, coordenadas e energeticamente eficientes**.

Como consequência, a planta não apenas reage aos desafios ambientais, mas também passa a **antecipá-los**, adaptar-se continuamente às variações do ambiente e manter maior estabilidade fisiológica ao longo de seu ciclo de desenvolvimento. O fenótipo observado em campo passa, assim, a ser compreendido como uma propriedade emergente do **sistema integrado planta-microbioma-ambiente**, e não apenas como a expressão do genoma da planta.

Microbiomas Ativos: a expressão funcional do Genoma Estendido

Se o **Genoma Funcional Estendido** amplia o repertório funcional da planta e o **Fenótipo Estendido** representa a manifestação desse potencial, torna-se evidente que o valor do microbioma não está apenas na presença de microrganismos, mas nas **funções biológicas** que eles expressam.

Nesse contexto, **Microbiomas Ativos** são comunidades microbianas funcionalmente organizadas, metabo-

licamente ativas e capazes de estabelecer redes de comunicação molecular que **modulam continuamente o funcionamento do sistema planta-solo-ambiente**. Por meio da expressão de genes funcionais e da produção de proteínas efectoras, enzimas, metabólitos bioativos, peptídeos sinalizadores, RNAs regulatórios, MAMPs, elicitores, compostos orgânicos voláteis (VOCs) e outras moléculas sinalizadoras, essas comunidades **ampliam o repertório funcional da planta** e sustentam a construção de **um fenótipo mais eficiente e resiliente**.

Sob essa perspectiva, o microbioma deixa de ser compreendido apenas como um conjunto de organismos e passa a ser reconhecido como uma **infraestrutura biológica funcional**. Consequentemente, a inovação em biotecnologia também muda de foco: deixa de buscar apenas a introdução de microrganismos e passa a **projetar, implantar e modular funções biológicas** capazes de reorganizar o desempenho do agroecossistema de forma previsível, mensurável e cientificamente fundamentada.

Da reação à antecipação: uma nova estratégia para o manejo agrícola

A compreensão de que o desempenho vegetal emerge da interação contínua entre planta, microbioma e ambiente redefine a forma de manejar os sistemas agrícolas. Em vez de adotar

uma abordagem predominantemente corretiva, baseada na intervenção **após** o aparecimento de deficiências, doenças ou estresses, torna-se possível **atuar preventivamente**, modulando processos biológicos **antes** que ocorram desequilíbrios fisiológicos.

Por meio da implantação de **Microbiomas Ativos**, funções moleculares, metabólicas e fisiológicas passam a ser continuamente reguladas, ampliando a capacidade adaptativa da planta frente às variações ambientais. Esse processo envolve tanto o **priming fisiológico**, que estabelece um estado de prontidão para respostas futuras, quanto a modulação imediata de processos relacionados à nutrição, crescimento, metabolismo energético, comunicação molecular, imunidade, desenvolvimento e tolerância aos estresses bióticos e abióticos.

O resultado é um **sistema biologicamente mais eficiente, resiliente e estável**, capaz de **antecipar respostas, reduzir perdas produtivas e manter maior previsibilidade de desempenho** entre diferentes condições ambientais e ciclos agrícolas. O manejo deixa, assim, de ser orientado pela **correção** de problemas e passa a ser fundamentado na **modulação contínua** das funções biológicas que sustentam a produtividade.

Da ciência à inovação

A ciência só gera impacto quando se transforma em inovação – e esse é o compromisso da **bioXyz®**.

Converter descobertas em solu-

ções reais exige mais do que selecionar microrganismos: exige **decifrar** as interações entre plantas, microbiomas e ambiente, **validar** mecanismos biológicos e **desenvolver** plataformas capazes de reproduzir essas funções com precisão em campo.

A **bioXyz®** é uma **DeepTech** orientada por PD&I, dedicada a transformar conhecimento científico em tecnologias biológicas de **alta complexidade**. Sua atuação integra prospecção microbiana, biologia molecular, microbiologia funcional, ômicas, bioprocessos, engenharia de microbiomas e validação experimental.

Mais do que desenvolver produtos, a empresa cria **plataformas tecnológicas vivas**, que permitem **compreender, modular e aplicar funções biológicas** de forma consistente. Produtos, serviços e tecnologias licenciáveis são a expressão aplicada desse ciclo contínuo de pesquisa.

Essa abordagem viabiliza soluções baseadas em evidências, voltadas à ativação de microbiomas, à modulação de funções biológicas e ao fortalecimento do **Genoma Funcional Estendido** e do **Fenótipo Estendido** das plantas – ampliando **produtividade, estabilidade e resiliência** dos agroecossistemas.

Assim, a **bioXyz®** se posiciona como uma empresa de base científica que **transforma conhecimento em tecnologia**, gerando propriedade intelectual, plataformas biotecnológicas e inovação aplicada para sistemas biológicos complexos. – **Nenhum potencial conflito de interesse é relatado pelo autor.** 🌱

BIOXYZ BIOTECNOLOGIA MICROBIANA E BIOPROCESSOS INDUSTRIAIS LTDA.

Inovação biotecnológica aplicada ao agro e à indústria

www.bioxyz.com.br

comercial@bioxyz.com.br

(19) 99982-9900

