

Estresse Abiótico

Agostinho Dirceu Didonet

O potencial genético das plantas em relação à produtividade, somente poderá ser alcançado se todos os fatores ambientais forem otimizados. Essa definição necessita ser transportada para a produtividade agrícola e para a produção das plantas em geral. A dificuldade primordial em aplicar esse conceito para maximizar a produtividade das “plantas agrícolas” se origina em saber como otimizar o ambiente e quando estas condições são adquiridas. Normalmente, é necessário manter todos os fatores ambientais constantes e variar somente um deles, para que seja possível conhecer especificamente qual é o efeito deste na produtividade. Assim, deve-se saber como e qual é a “dose-resposta” em relação a um determinado fator de ambiente, levando em consideração a combinação ideal de todos os demais fatores ambientais que proporcionem conjuntamente o máximo de rendimento.

Segundo esse ponto de vista, surgem pelo menos dois problemas práticos. O primeiro deles é de que o “ótimo” para um fator pode mudar de acordo com a variação dos demais fatores, resultando em diferentes curvas de dose-resposta para um mesmo fator, dependente da variação de outro fator. Em segundo lugar, sabe-se que um determinado fator ambiental varia com o tempo. Por exemplo, a temperatura ótima é variável e diferente durante o ciclo de vida da planta, assim como a temperatura ótima é variável no decorrer de um dia. Dessa maneira, a certeza de que a produtividade máxima foi atingida, torna-se bastante difícil de ser evidenciada.

Estresse pode ser definido como uma aberração nos processos fisiológicos provocados por um ou mais fatores biológicos ou de ambiente e que têm potencial para produzir uma injúria. A injúria pode ser expressa como redução do crescimento, na produção (rendimento), morte da planta ou parte dela. O grau de estresse pode evoluir de zero a moderado para severo e está ligado à quantidade de energia gasta no processo de mudança do sistema vivo. Igualmente importante é definir quando é que uma planta não está sob condição de estresse, ou seja o “estresse zero”, que pode ser compreendido como uma condição de ambiente ou de fatores de ambiente que não provoquem injúria, nem redução no crescimento, produtividade, etc., ou seja, a condição ótima para a espécie.

As plantas podem ser resistentes e sobreviver a alguma injúria provocada por estresses, ou algumas partes da planta podem ser resistentes, enquanto outras partes podem ser susceptíveis. Através da evolução, ou seleção natural, uma determinada espécie de planta pode tornar-se adaptada a um determinado ambiente no qual ela adquire vantagens ou sucesso na sobrevivência. Nessas condições, a planta sobrevivente tem tolerância à injúria em relação aos fatores ambientais que a tornam capacitada a sobreviver completa ou parcialmente a qualquer efeito adverso ali existente. Tolerância, portanto, é a capacidade de uma planta sobreviver e crescer mesmo quando submetida a um ambiente desfavorável, ou seja, a planta pode sobrepujar os efeitos do estresse sem morrer ou sofrer danos irreparáveis.

Tal tolerância ou resistência pode mudar de acordo com o desenvolvimento e crescimento, tanto que em um determinado estágio fenológico a planta pode ser susceptível ao estresse que causa injúria, enquanto que em outro estágio ela pode ser completamente resistente. Adicionalmente, um estresse pode modificar o metabolismo resultando em mudanças morfológicas da planta que possibilitam à planta resistir àquele estresse, processo que é chamado de aclimação. Plantas que se tornam aclimatadas são “endurecidas” e podem, então, sobreviver em um novo ambiente que anteriormente provocaria injúria. Em relação ao tempo de desenvolvimento da planta (fenologia) em que ocorre o estresse, algumas plantas podem “escapar” da injúria que o estresse normalmente provocaria.

A resistência ao estresse pode ser compreendida por plantas que toleram o estresse e por plantas que evitam o estresse, onde “evitar” o estresse significa que a planta pode evitar o estresse por meio de uma barreira física ou metabólica, e a tolerância ao estresse significa que a planta se adapta ao estresse sem sofrer dano ou que o dano pode ser reparado. A resistência ao estresse ao longo da

evolução, tem sido mais eficiente em direção a aquisição de mecanismos que evitam o estresse do que de mecanismos que toleram o estresse.

Algumas reações das plantas a uma condição de estresse podem ser patológicas. Estima-se que mais de 50% das doenças de plantas são causadas por condição imprópria de ambiente ou condição nutricional e física inadequadas, são os chamados estresses abióticos. Diferentemente dos estresses bióticos, que estão ligados a viroses e organismos patogênicos.

Estresses Nutricionais

Os elementos essenciais são definidos segundo sua necessidade para que a planta possa completar o ciclo de vida, quando ausentes causam sintomas específicos de deficiência, ou possuem um papel específico no metabolismo da planta. A disponibilidade desses nutrientes (macro e micronutrientes) e da energia solar permite que as plantas sintetizem todos os compostos que elas necessitam para seu crescimento.

O carbono, o oxigênio e o hidrogênio são adquiridos a partir do CO₂ atmosférico e da água presente no solo. Depois de adquiridos, estes são incorporados às plantas pelo processo de fotossíntese. Como consequência da fotossíntese, esses três nutrientes fazem parte, praticamente, de todas as moléculas orgânicas dos vegetais e são responsáveis por cerca de 94-97% do peso seco de uma planta. Os demais nutrientes (6-3% restantes) fazem parte dos minerais presentes no solo. Por derivarem dos minerais, esses elementos são denominados nutrientes minerais e o processo pelo qual as plantas os adquirem é denominado nutrição mineral.

Com exceção do carbono e do oxigênio, os demais nutrientes são adquiridos pelas plantas através do sistema radicular, envolvendo três processos diferentes: Difusão - quando o nutriente entra em contato com a raiz ao passar de uma região de maior concentração para uma de menor concentração próxima da raiz; Fluxo de massa - quando o elemento é carregado de um local de maior potencial de água para um de menor potencial de água próximo da raiz; e Interceptação radicular - quando o contato se dá com o crescimento da raiz e o consequente encontro com o elemento.

Todos os nutrientes essenciais são requeridos pelas plantas em proporções adequadas, tanto que uma desproporção nas quantidades causa desordem nutricional. Em geral, a deficiência de nutrientes ocorre nas plantas quando há

insuficiência de um nutriente no meio de crescimento, ou ele não pode ser absorvido e assimilado pela planta devido a condições desfavoráveis de ambiente. Quando ocorre o contrário, isto é, excesso, pode ocorrer toxidez de alguns elementos.

As raízes, além de terem a função crucial na absorção de nutrientes e de água, são também preponderantes na adaptação das plantas ao ecossistema. Geralmente, as raízes ajustam à capacidade de aquisição de nutrientes de acordo com as variações na demanda da parte aérea, causadas pelas mudanças de ambiente. Tal adaptação envolve ajustes de natureza fisiológica (taxa de absorção e transporte de íons, etc.), longevidade das raízes, alterações morfológicas e nas características da “arquitetura” radicular. É possível assim, perceber e entender a importância das raízes no sentido de ajustar a aquisição de nutrientes da solução do solo com a exigência da parte aérea, que é determinada pelas flutuações e variações de ambiente.

Também é preciso compreender que, ao mesmo tempo em que as raízes respondem aumentando ou reduzindo a absorção de nutrientes e água de acordo com as variações na taxa de crescimento da parte aérea, há necessidade que elas sejam supridas com energia derivada da parte aérea da planta. Assim, percebe-se que há uma completa interdependência entre as raízes e a parte aérea da planta no sentido de que cada uma das partes desempenhe suas funções de maneira que o crescimento e a produtividade da planta sejam maximizados. Obviamente que altas taxas de crescimento da parte aérea, implicam em alta demanda de água e nutrientes, e em fornecimento adequado de substâncias produzidas na parte aérea para as raízes. Quando há algum desequilíbrio nesta interdependência, resultante da atuação de fatores de ambiente (calor, frio, radiação, pH do solo, encharcamento do solo, etc.), são criados os motivos para deficiência ou toxidez de minerais, com o conseqüente efeito na produtividade. Tal desequilíbrio pode ser criado mesmo quando a disponibilidade de nutrientes é satisfatória, uma vez que é possível que as raízes absorvam o nutriente do solo e este não seja translocado para as partes em crescimento da planta, ou que as raízes não sejam supridas adequadamente com os produtos oriundos da parte aérea.

Do ponto de vista prático, torna-se importante que o estresse nutricional possa ser identificado precocemente, para que pelo menos a disponibilidade de nutrientes colocados à disposição da planta seja otimizada, de acordo com as necessidades da planta naquele estágio fenológico.

Seca - Deficiência Hídrica

Seca é um fenômeno climático que significa a ausência de precipitação por um período prolongado de tempo, o que pode causar estresse hídrico ou deficiência hídrica nas plantas. Fundamentalmente, como a água compreende entre 85-90% da massa da matéria fresca da maioria das plantas herbáceas, e é absorvida do solo através de um gradiente de pressão estabelecido entre as raízes e as partes transpirantes da planta, a deficiência hídrica ocorre quando a taxa de perda de água é maior do que a taxa de absorção de água. Nessa situação, o equilíbrio necessário dos potenciais hídricos entre as diversas partes da planta é quebrado, criando-se uma competição por água entre os vários tecidos da planta. Em estado de moderada deficiência hídrica, os tecidos em crescimento ou órgãos em ativa transformação metabólica, normalmente levam vantagem nessa competição por água, uma vez que estão sintetizando/produzindo material celular e, portanto, a concentração de solutos está aumentando.

Como a planta somente cresce quando a turgescência é mantida, e tendo em vista que esta é a primeira a ser afetada pela deficiência hídrica, se as células ou órgãos perdem a turgescência, os sintomas de murchamento tornam-se visíveis. Tendo em vista que a planta utiliza menos de 5% da água que passa através dela, a importância da manutenção do turgor se torna ainda mais relevante, principalmente em períodos fenológicos críticos. Assim sendo, em qualquer avaliação de deficiência hídrica, deve-se necessariamente verificar o grau de turgescência da planta, além da taxa de transpiração cíclica diária, que é controlada pela abertura estomática. Outros critérios são também úteis na avaliação da deficiência hídrica, como a espessura da cutícula, a densidade radicular, e o tamanho dos tecidos que conduzem água da raiz para a parte aérea, porém, estes critérios são resultantes de exposições mais prolongadas ao estresse. Seja qual for a avaliação, recomenda-se que esta seja efetuada em condições de campo, e é importante ter a clareza de que o rendimento é sempre um fraco indicador de deficiência hídrica, pois este é o resultado de uma combinação de vários outros fatores. Na prática, a severidade do estresse hídrico diário pode ser definida pela relação entre a taxa de transpiração atual e a taxa potencial de transpiração, sendo que valores superiores a 0,80 são, em geral, considerados adequados para o crescimento normal da maioria das culturas anuais.

Temperatura

As plantas adquirem a temperatura do ambiente, e um estresse imposto pela temperatura, tem importantes implicações para a agricultura. A temperatura é

o fenômeno climático mais incontrolável da natureza e o que mais necessita de pesquisas em características herdáveis para tornar a planta resistente, e de conhecimento de fisiologia de produção, para manipulação de estratégias para aumentar a tolerância a temperaturas extremas.

Estresse de temperatura pode ser dividido nos efeitos provocados por temperaturas que causam injúrias por resfriamento, injúria por congelamento e injúria por altas temperaturas. Também relacionados estão os mecanismos chamados de “endurecimento” ou tolerância ao estresse causado pela temperatura.

Injúria por resfriamento é aquela que ocorre quando a temperatura cai a um ponto logo acima do ponto de congelamento, mas baixa o suficiente para provocar injúria aos tecidos, células, ou órgãos da planta. Para a maioria das plantas sensíveis, isso ocorre quando elas são expostas a temperaturas a cerca de 10°C. Efeitos diretos de estresse de temperatura podem ser necrose, descoloração, escurecimento e quebra de tecidos, crescimento reduzido, problemas de germinação de sementes e outros. Podem, também, ocorrer outros efeitos indiretos e eventos súbitos, como redução no pegamento de grãos, colheita tardia ou precoce, redução na fotossíntese e redução na absorção de água. Esses efeitos estão relacionados com as propriedades físico-químicas das membranas celulares e da água, de tal maneira que temperaturas baixas aumentam a rigidez das membranas, enquanto que as temperaturas elevadas aumentam a fluidez. Já as propriedades físico-químicas da água dependem da concentração de solutos dissolvidos que podem alterar substancialmente o ponto de congelamento e a facilidade ou dificuldade em permear as membranas celulares.

Esses efeitos, no entanto, são bastante drásticos e normalmente não são passíveis de recuperação e podem causar a morte de células, tecidos ou da planta como um todo. Dessa maneira, tornam-se importantes, sob o ponto de vista agrônômico, os mecanismos de resistência e tolerância a estresses de temperatura, pois podem causar perdas significativas na produtividade das plantas cultivadas sem, no entanto, provocar a morte das mesmas. Maior ou menor tolerância ao estresse de temperatura podem ser adquiridas pelas plantas capacitando-as a sobreviver em temperaturas que normalmente provocariam danos irreparáveis, fenômeno esse conhecido com aclimação ou “endurecimento”. A aclimação depende da intensidade e da velocidade com

que o estresse é imposto e também do estágio fenológico da planta. Queda ou aumentos súbitos de temperatura até próximo ao limiar de dano, em geral, dificultam a aquisição do endurecimento e reduzem a tolerância ao estresse, enquanto que alterações suaves, demoradas e progressivas, proporcionam uma aclimatação mais adequada, resultando em maior tolerância.

O estresse térmico pode ser definido como aquela temperatura suficientemente quente para causar danos irreparáveis ao desenvolvimento e ao crescimento das plantas. Em geral, temperaturas mais elevadas aumentam a taxa de desenvolvimento reprodutivo, reduzindo o tempo em que a fotossíntese pode contribuir para a produção de sementes ou frutos. Quando o estresse térmico não provoca danos irreversíveis no desenvolvimento, a aceleração do ciclo reduz substancialmente a produção de grãos. Altas temperaturas provocam danos diretos devido ao aquecimento dos tecidos ou efeitos indiretos associados com a deficiência hídrica, que pode aumentar como resultado do aumento na demanda evaporativa que acompanha a variação diária da temperatura, reduzindo a turgescência. Portanto, o estresse térmico é uma função da intensidade, duração e taxa de aumento na temperatura, associada a outros fatores de ambiente.

Plantas anuais de verão podem produzir um aumento substancial de biomassa, abortar todas as flores, ou, se produzir flores, estas podem não formar semente, como é o caso de caupi crescendo durante a estação quente na Califórnia, onde a temperatura pode ultrapassar os 45°C. Temperaturas altas no final do período noturno parecem ser as responsáveis pela redução no “pegamento” dos grãos, danificando prematuramente a parte masculina da flor, melhor do que as altas temperaturas diárias, geralmente muito superiores. A supressão de flores no caupi é provocada pela exposição das plantas a altas temperaturas noturnas durante os oito a dez dias que precedem a antese, sendo que o auto-sombreamento acentua a supressão das flores e provoca ainda o abortamento de botões florais. Assim, o incremento da biomassa certamente provocará alto índice de área foliar - IAF, com consequente auto-sombreamento, o que acentuará a supressão de flores, o abortamento de botões florais, o pegamento de grãos e de vagens e menor número de sementes por vagem, mesmo quando as temperaturas noturnas não forem tão altas. Em função de as taxas de desenvolvimento serem aceleradas (redução de ciclo), os grãos que se formam são menores e com menos massa seca. Para o caupi, o rendimento de grãos é negativamente

relacionado com a temperatura noturna mínima acima de 15°C, com redução de 13,6% no rendimento para cada °C de aumento na temperatura mínima incidente uma semana antes do início do florescimento.

O feijoeiro comum parece ter comportamento semelhante ao do caupi, no qual as altas temperaturas provocam aumento do IAF, redução de ciclo, aumento de biomassa com aumento na altura das plantas, menor número de grãos por vagem, grãos com menor massa seca e desuniformidade na maturação das sementes. Assim como o caupi, o feijoeiro exposto a altas temperaturas mínimas noturnas entre dez a cinco dias antes do aparecimento de botões florais provoca supressão da primeira florada e floradas posteriores mais intensas, aumentando bastante o número de vagens por planta, porém, estas com baixo número de grãos por vagem e ainda com os grãos impróprios para comercialização.

A redução no rendimento de grãos por planta de feijoeiro avaliada em ensaios com choque térmico aplicado no estágio R5 (ver Figura 1 do próximo capítulo), em condições controladas, pode chegar a mais de 60% em relação a plantas crescendo em temperaturas mais amenas. Observou-se também reduções expressivas no rendimento de grãos por planta quando o choque térmico foi aplicado no período compreendido entre os estágios V4 e R8, porém o estágio mais crítico parece ser o R5.

Em condições de campo, aumentos nas temperaturas máximas, da emergência até o R5, provocam redução no percentual de abortamento de flores, aumento no percentual de retenção de vagens, redução no ciclo, com consequente redução no rendimento de grãos. Além disso, observa-se, também, um expressivo aumento no IAF, aumento na taxa de enchimento dos grãos, com redução no tempo cronológico entre R5 e R9, em função do aumento nas temperaturas máximas médias.

Embora esses estudos sejam ainda preliminares, os resultados confirmam o efeito negativo de altas temperaturas no feijoeiro e são bastante convincentes para que sejam tomadas algumas precauções do ponto de vista de manejo e expectativa de rendimento. Precauções interessantes poderiam ser a efetivação da semeadura em datas específicas, de tal maneira que a floração possa coincidir com períodos de temperaturas mais amenas, manejo adequado do número de plantas por unidade de área, além do suprimento de nitrogênio e água.