

AS TÉCNICAS DE HIDROPONIA

EGÍDIO BEZERRA NETO
LEVY PAES BARRETO

Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco.

RESUMO

AS TÉCNICAS DE HIDROPONIA

Hidroponia é um conjunto de técnicas de cultivo de plantas sem uso do solo, de forma que os nutrientes minerais essenciais são fornecidos às plantas através de uma solução nutritiva balanceada para atender as necessidades nutricionais das mesmas. A hidroponia tem uma importância fundamental nas pesquisas que envolvem a Nutrição Mineral de Plantas e vem sendo amplamente difundido o seu emprego com fins comerciais, em virtude das diversas vantagens que estas técnicas apresentam em relação ao cultivo no solo. Entre as vantagens da hidroponia, destacam-se a maior produtividade das culturas, precocidade, melhor qualidade dos produtos e lucratividade. Hidroponia de aeração estática, técnica de fluxo laminar de nutrientes e cultivo hidropônico com substrato são as técnicas de cultivo hidropônico mais empregadas atualmente.

Termos para indexação: hidroculutura, nutrição de plantas, solução nutritiva.

ABSTRACT

THE HYDROPONIC TECHNIQUES

Hydroponics is a set of techniques for growing plants without use of soil, so that the essential nutrients are supplied to plants through a nutrient solution formulated to furnish the nutritional needs of the plants. Hydroponics is very important in research involving the Mineral Nutrition of Plants and its use has been widespread for commercial purposes, because of several advantages that these techniques have in relation to the cultivation in soil. Among the advantages of hydroponics, the largest yield, plant earliness, improved product quality and profitability are utmost importance. Static aeration hydroponic, nutrient film technique and substrate hydroponic are the techniques of hydroponics most employed currently.

Index terms: hydroculture, plant nutrition, nutrient solution.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a etimologia, o termo hidroponia (do grego: *hydro* = água e *ponos* = trabalho) quer dizer trabalho com água, no entanto, hidroponia significa o conjunto de técnicas empregadas para cultivar plantas sem o uso do solo, de forma que os nutrientes minerais essenciais são fornecidos às plantas na forma de uma solução nutritiva. A primeira referência em literatura sobre o cultivo de plantas sem uso do solo é do pesquisador inglês John Woodward (1665–1728) que cultivou plantas de menta (*Mentha spicata*) em vasos com água da chuva, torneira, enxurrada e líquido de esgoto diluído, tendo observado maior crescimento nas plantas cultivadas com líquido de esgoto diluído (Furlani, 2004). Com tal pesquisa ele concluiu que: “As plantas alimentam-se da água e de elementos nela dissolvidos, que se encontram na terra. Quando conseguirmos descobrir quais são esses elementos, poderemos prescindir da terra, para cultivá-las” (Martins, s.d.). Em 1860, Sachs & Knop desenvolveram a tecnologia para o cultivo de plantas em solução nutritiva e foram estes os primeiros a elaborar fórmulas de solução nutritiva (Bataglia, 2003). Em 1950, Hoagland & Arnon elaboraram duas soluções nutritivas para o cultivo de tomateiro as quais foram consideradas as mais adequadas em sua época, de forma que ainda hoje estas soluções nutritivas são amplamente empregadas e citadas como base para a elaboração de diversas outras soluções nutritivas (Bezerra Neto & Barreto, 2000).

Admite-se que o pesquisador William Frederick Gericke foi quem primeiro empregou o termo “hidroponia”, em 1937, para indicar o cultivo de plantas sem o uso do solo, e foi também quem primeiro transferiu os conhecimentos de pesquisas laboratoriais para o campo, isto é, o emprego da hidroponia com fins comerciais (Martins, s.d.). Desde então a hidroponia vem sendo praticada com fins comerciais, nos Estados Unidos e em outros países (Filgueira, 2007). Na atualidade, países como Holanda, Alemanha, Espanha, Itália, Suécia, Austrália, Japão e Estados Unidos, praticam a hidroponia em escala comercial. A Agência Espacial Americana–NASA, utiliza a técnica para cultivar espécies olerícolas em viagens espaciais longas (Martinez, 2002).

No Brasil, o cultivo hidropônico em escala comercial vem crescendo de forma rápida, destacando-se os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio Grande do Sul que vêm desenvolvendo pesquisas pioneiras para a implantação da hidroponia

(Santos, 2000). Segundo Rodrigues (2002), o desenvolvimento do cultivo hidropônico brasileiro, em escala comercial, deve-se ao pioneirismo de Shigueru Ueda e Takanori Sekine que trouxeram a técnica do Japão, e apresentaram, em 1990, o primeiro projeto piloto de hidroponia comercial para a cultura da alface. Em Pernambuco o cultivo hidropônico ocorre dentre outros locais, na região metropolitana, no município de Paulista, e no arquipélago de Fernando de Noronha (Revista Hidroponia, 2011). No estado, a atividade vem crescendo muito nos últimos anos, com grandes e pequenos produtores aderindo ao cultivo hidropônico como forma de geração de renda (IPA, 2011). No município de Ibimirim (Sertão do Moxotó), pesquisadores da UFRPE estão testando a tolerância de hortaliças hidropônicas ao estresse salino e os dados preliminares são animadores (UFRPE, 2008).

Por princípio, todas as espécies vegetais podem ser cultivadas hidroponicamente, no entanto, em termos agrônômicos e econômicos, as espécies mais adequadas ao cultivo hidropônico são as de pequeno porte (Bezerra Neto & Barreto, 2000). Na literatura há relatos das mais diversas espécies cultivadas em sistema hidropônico em escala comercial: *hortaliças* (alface, tomate, pepino, pimentão, repolho, couve, etc.), *condimentares* (cebolinha, coentro, manjeriço, mostarda, pimenta, salsa, etc.), *medicinais* (agrião, alecrim, alfavaca, arruda, aspirina, bálsamo, boldo, camomila, erva-doce, gengibre, hortelã, malva, etc.), *ornamentais* (antúrio, crisântemo, hortências, rosas, orquídeas, flores em geral, etc.), *frutíferas* (uva, melão, morango, melancia, etc.), *forageiras* (milho, sorgo, cevada, alfafa, trigoilho, milheto, azevém, etc.). Recentemente, vários trabalhos têm mostrado a viabilidade econômica no cultivo hidropônico de forragem, com grandes vantagens em relação ao cultivo em solo (Araújo *et al.*, 2008; Campêlo *et al.*, 2007; Müller *et al.*, 2006).

A hidroponia tem se desenvolvido nos últimos anos graças ao aprimoramento de novas tecnologias de cultivo e custos cada vez maiores do processo de produção extensivo, além do grande desenvolvimento urbano, que obriga os sistemas produtores de alimentos a migrarem para regiões cada vez mais distantes dos centros consumidores e utilizando áreas, algumas vezes, pouco adequadas à produção de alimentos (Cortez & Araújo, 2002). Da quantidade total de terras existentes no mundo, somente 15% constituem-se em terras aráveis adequadas ao cultivo de espécies vegetais, enquanto 50% do total geral são ocupadas por florestas e áreas impróprias ao cultivo (desertos, montanhas, mangues e áreas alagadas), locais onde o cultivo hidropônico pode ser empregado com sucesso.

Em países onde o custo das terras agrícolas é muito elevado, o cultivo hidropônico

em escala comercial tem se acelerado bastante nos últimos anos, notadamente com cultivo de hortaliças e flores. A substituição do cultivo em solo pelos sistemas hidropônicos fez-se gradativamente, e ainda existem dificuldades para determinar onde termina o cultivo no solo e onde se inicia o processo hidropônico. Muitos dos sistemas estão mais relacionados com fertirrigação do que com a hidroponia, contudo a aplicação do termo cultivo sem solo generaliza o processo e facilita a convivência de infinitas variações de cultivo.

2. CLASSIFICAÇÃO

Quanto aos objetivos, a hidroponia pode ser classificada em quatro tipos: hidroponia didática, hidroponia científica, hidroponia ornamental e hidroponia comercial (Bezerra Neto & Barreto, 2000).

A *hidroponia didática* caracteriza-se por não necessitar de grande infraestrutura para a sua implementação, e que algumas vezes, apenas uma ou duas plantas são suficientes para a demonstração do funcionamento do sistema. Não necessita, portanto, de grande investimento e como a função é apenas didática, o grau de pureza dos reagentes químicos não precisa obrigatoriamente ser elevado.

Em relação à *hidroponia científica*, esta necessita de um pouco mais de infraestrutura do que a hidroponia didática, porém bem menos do que a hidroponia comercial. Uma característica importante neste tipo de hidroponia é que os reagentes químicos necessitam de ter um elevado grau de pureza (reagentes P.A.), e uso de água destilada ou deionizada, além de exigir um maior rigor no controle de fatores como pH, condutividade elétrica e período de substituição das soluções nutritivas. A hidroponia científica desempenha um papel importantíssimo no estudo da Nutrição Mineral das Plantas, sendo mediante o uso desta técnica que se conseguiu descobrir a essencialidade de todos os nutrientes minerais.

Quanto à *hidroponia ornamental*, esta se assemelha bastante com a hidroponia didática, quanto às características da infraestrutura necessária e custo de implementação. Difere desta principalmente pelo seu objetivo, o qual não é de demonstração para aprendizagem, mas sim de decoração de ambientes onde se deseja evitar o inconveniente da sujeira provocada pelo solo.

E a *hidroponia comercial*, conforme o termo já traz um entendimento, é aquela realizada com fins de se auferir lucro. Esta é caracterizada por necessitar de uma grande infraestrutura, comparada com a hidroponia didática e, portanto um investimento financeiro elevado. O uso de reagentes químicos mais baratos (técnicos

ou comerciais) e de água potável, em vez de água destilada são medidas importantes em trabalhos de hidroponia comercial, para que haja viabilidade financeira no investimento. O sucesso do empreendimento hidropônico dependerá além do conhecimento da composição da solução nutritiva a ser usada, do conhecimento sobre fatores ambientais (luminosidade, temperatura e umidade), estação do ano, estágio de desenvolvimento das plantas, espécie vegetal e cultivar (Backes *et al.*, 2007). Também são importantes para a viabilidade econômica da hidroponia, fatores relacionados à comercialização dos produtos, como a proximidade de um centro consumidor, custo de produção e preço do produto no mercado local.

3. VANTAGENS DA HIDROPONIA

Várias são as vantagens do cultivo hidropônico, de forma que cada vantagem está associada a um sistema de cultivo. Por exemplo, o melhor controle sobre a composição dos nutrientes fornecidos às plantas é uma grande vantagem para a pesquisa com a nutrição mineral das plantas. A maior produtividade alcançada com as plantas cultivadas hidroponicamente, é de suma importância para o cultivo hidropônico em escala comercial. A seguir são listadas algumas das vantagens do cultivo hidropônico.

Melhor controle sobre a composição dos nutrientes fornecidos às plantas. Esta característica do cultivo hidropônico é de suma importância para as pesquisas com Nutrição Mineral das Plantas. Em decorrência desta característica surgem outras vantagens, mencionadas a seguir.

Redução no ciclo da cultura e maior produtividade. Conhecendo-se as necessidades nutricionais das plantas, é possível se programar para fornecer o melhor em termos de nutrição mineral para as plantas. Desta forma, sendo as plantas cultivadas nas melhores condições possíveis, pode se conseguir a máxima produtividade correspondente ao potencial genético de cada espécie ou variedade (Tabela 1).

Menor consumo de água e de fertilizantes. O cultivo hidropônico geralmente está associado a um sistema de cultivo em ambiente protegido, como uma casa de vegetação, por exemplo. Desta forma, a água é fornecida às plantas na forma de solução nutritiva, a qual muitas vezes recicla, isto é, é reutilizada por várias vezes, além de que o ambiente protegido contribui para diminuir a evaporação, e não há perda por lixiviação. Por não haver lixiviação, não há perda de fertilizantes no cultivo hidropônico. Ao contrário, o cultivo no solo contribui para perdas de fertilizantes por lixiviação, além de perdas por indisponibilização dos nutrientes minerais pela

Tabela 1. — Comparação da produção de algumas hortaliças cultivadas com sistema hidropônico e no campo (Castellane e Araujo, 1994).

Cultura	Hidroponia		Campo	
	Ton./ha	Nº de ciclos de cultivo	Ton./ha/ano	Ton./ha/ano
Brócolis	32,5	3	97,5	10,5
Feijão-vagem	11,5	4	46,0	6
Repolho	57,5	3	172,5	30
Pepino	250,0	3	750,0	30
Berinjela	28,0	2	56,0	20
Alface	31,3	10	313,0	52
Pimentão	32,0	3	96,0	16
Tomate	187,5	2	375,0	100

fixação e precipitação dos mesmos.

Melhor controle fitossanitário. O cultivo de plantas em ambiente protegido propicia uma diminuição drástica no uso de agrotóxicos, em virtude da barreira física formada pela tela lateral, a qual impede a entrada de insetos pragas e vetores de doenças. No cultivo hidropônico praticamente inexiste as pragas e doenças de solo, já que as plantas são cultivadas em vasos com solução nutritiva ou com substrato, o qual pode ser esterilizado previamente.

Redução em alguns tratamentos culturais. No cultivo hidropônico inexistem operações como aração, gradagem, coveamento, sulcamento, capina, aplicação de herbicidas, etc. As operações necessárias ao cultivo hidropônico são mais suaves em comparação com o cultivo em solo, principalmente devido à ergometria das bancadas de cultivo.

Dispensa rotação de cultura. Uma espécie vegetal altamente rentável pode ser cultivada hidroponicamente indefinidamente no mesmo local sem necessidade de rotação de cultura, haja vista que ao final de cada ciclo de cultivo, todo o material é desinfectado, e no próximo ciclo de cultivo a solução nutritiva será renovada.

Redução de riscos climáticos. Historicamente, o uso de ambiente protegido foi introduzido no cultivo de plantas, justamente para evitar as perdas causadas por geadas, frio e chuvas excessivas, etc. Como o cultivo hidropônico é normalmente realizado em ambiente protegido, os riscos climáticos são reduzidos ou mesmo inexistentes.

Produção fora de época. É outra vantagem do cultivo hidropônico decorrente do uso de casa de vegetação (ou de estufa agrícola), em virtude de se poder controlar

fatores da sazonalidade como a luminosidade, temperatura, fornecimento de água, além do fornecimento dos nutrientes minerais.

Melhor qualidade e preço do produto. Os produtos hidropônicos normalmente são bastante limpos, isentos de terra ou outros tipos de sujeira, e usualmente passam por um processo de seleção, antes de serem embalados e enviados para o comércio. Também, admite-se que os produtos hidropônicos podem estar isentos de agrotóxicos, em virtude do cultivo em ambiente protegido proporcionar um melhor controle natural das pragas e doenças. Por estas razões, consegue-se um preço melhor do que os produtos cultivados no solo.

Produção próximo ao consumo. Como é possível obter uma produtividade bem mais elevada nos produtos hidropônicos, também é possível trabalhar em áreas menores, e portanto mais próximas aos centros consumidores.

Rápido retorno do capital. A elevada produtividade, diminuição no ciclo de cultivo e melhor preço dos produtos hidropônicos contribuem para se obter um bom lucro, e portanto um rápido retorno do capital empregado.

4. DESVANTAGENS DA HIDROPONIA

Apesar de um número relativamente grande de vantagens no cultivo hidropônico, vale salientar que existem algumas características do cultivo hidropônico que podem ser consideradas como desvantagens. No entanto, com o conhecimento prévio e medidas racionais, algumas das desvantagens podem ser superadas. A seguir são listados alguns itens que podem ser considerados como desvantagens do cultivo hidropônico.

Custo inicial relativamente elevado. O cultivo hidropônico normalmente exige a aquisição de uma infraestrutura própria, como casa de vegetação, bancadas, canaletas, vasos, tanque, sistema hidráulico, sistema elétrico, peagâmetro, condutivímetro, etc. Para o pequeno produtor isto se apresenta como uma desvantagem, contudo, além da possibilidade de se pleitear um financiamento, alguns itens podem ser adquiridos localmente e adaptados, baixando portanto o custo inicial.

Exige assistência e conhecimento técnico mais efetivo. O preparo e monitoramento da solução nutritiva, a automação no fornecimento da solução nutritiva e os cuidados fitossanitários, além de outros itens, são conhecimentos técnicos indispensáveis no cultivo hidropônico, que portanto, necessitam de um assessoramento técnico de boa qualidade para evitar prejuízos. Muitos cultivos hidropônicos não obtêm sucesso devido, principalmente, a falta de conhecimento dos aspectos nutricionais da planta

(Martínez & Silva Filho, 2006).

Exige mão de obra especializada. Em decorrência do item anterior, também é necessário que seja dado um treinamento adequado à pessoa que irá trabalhar com o cultivo hidropônico.

Risco de perda por falta de energia elétrica. Em regiões distantes das grandes metrópoles, costuma faltar energia elétrica com frequência e por muito tempo. Neste caso, recomenda-se a aquisição de um gerador de energia elétrica para suprir o bombeamento das soluções nutritivas, em situações de emergência.

Prejuízo por contaminação da água por patógenos. Pode acontecer contaminação da solução nutritiva e conseqüentemente das plantas por patógenos, quando se usa água de córregos, riachos, rios e poços rasos. Como precaução, recomenda-se fazer as análises químicas e microbiológicas com frequência, e quando necessário, o tratamento adequado da água.

Requer acompanhamento permanente do sistema. O cultivo hidropônico necessita de um acompanhamento diário para monitoramento das soluções nutritivas e principalmente para certificar-se do bom funcionamento no sistema de bombeamento das soluções nutritivas.

5. SISTEMAS DE CULTIVOS

Existem vários sistemas de cultivo hidropônico que diferem entre si quanto à forma de sustentação da planta (meio líquido e substrato), ao reaproveitamento da solução nutritiva (circulantes ou não circulantes), ao fornecimento da solução nutritiva (contínua ou intermitente) (UFRB, 2007). Quanto ao reaproveitamento da solução nutritiva, os sistemas hidropônicos são classificados em abertos e fechados. No primeiro caso, a solução nutritiva é aplicada uma única vez às plantas e posteriormente descartada, assemelhando-se à fertirrigação. No sistema fechado, a solução nutritiva aplicada é recuperada, e reutilizada, sendo periodicamente corrigida a composição da solução nutritiva, seja através da adição de água, ou de nutrientes minerais.

Hidroponia de aeração estática (floating). Neste sistema as plantas são mantidas em vasos, sem substrato, com as raízes completamente submersas na solução nutritiva, e um sistema de bombeamento de ar para proporcionar a respiração das raízes. Como não se usa substrato, é necessário se adaptar um sistema de sustentação para manter as plantas na posição vertical. Usualmente empregam-se placas de poliestireno (isopor) com furos, onde se colocam as plantas (Figura 1). Exige um grande volume

de solução nutritiva ou ajuste frequente da mesma, para impedir que a absorção de nutrientes pelas raízes produza mudanças radicais nas concentrações dos nutrientes e no pH do meio. Um tipo especial deste sistema de cultivo é o chamado de piscinão, o qual consta de um grande tanque, com cerca de 30 a 40 cm de profundidade, no qual são colocadas diversas placas de poliestireno com as plantas a serem cultivadas. Este sistema de cultivo é adequado apenas para plantas leves, como alface, coentro, etc., não se prestando, portanto para plantas de maior porte como o tomate, pepino, uva, etc. Este sistema tem sido empregado com sucesso em cultivos comerciais.

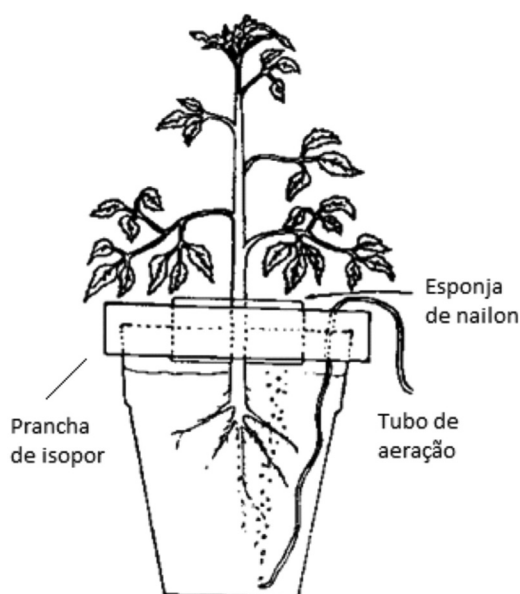


Figura 1. — Modelo representativo de um sistema de cultivo hidropônico com aeração estática.

Técnica do filme nutriente (NFT) ou técnica do fluxo laminar de nutrientes. Neste sistema, as plantas são cultivadas em canais de cultivo por onde a solução nutritiva circula, intermitentemente, em intervalos definidos e controlados por um temporizador. As raízes das plantas ficam apenas parcialmente submersas na lâmina de solução nutritiva que circula, de forma a permitir a respiração normal das raízes. Existem no mercado perfis hidropônicos (Figura 2) próprios para este sistema de cultivo, e também podem ser utilizados tubos de PVC inteiros ou cortados ao meio, longitudinalmente.

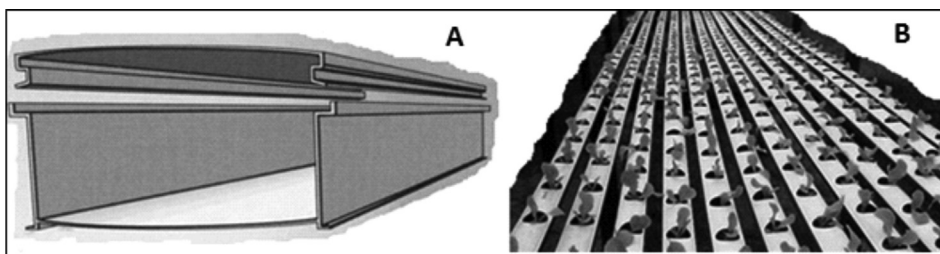


Figura 2. — Canaletas (perfis) de PVC para cultivo hidropônico, vazia (A) e com plântulas sendo cultivadas (B) por sistema NFT em disposição horizontal.

O sistema NFT foi desenvolvido em 1965 por Allen Cooper na Inglaterra e tem sido considerado o mais viável comercialmente para o cultivo de diferentes culturas, em especial para as hortaliças folhosas (Cometti, 2003). O sistema NFT não utiliza substrato e é classificado entre as técnicas de cultivo hidropônico como um sistema fechado, isto é, a solução nutritiva circula pelos canais de cultivo sendo reutilizada continuamente (Rodrigues, 2002). Este sistema de cultivo pode ser instalado tanto no sentido horizontal (Figura 2–B) como no sentido vertical (Figura 3).

Aeroponia. É uma técnica de cultivo de plantas de forma que as raízes ficam suspensas no ar e recebem nebulizações intermitentes de solução nutritiva, ficando a umidade relativa do ar, no ambiente radicular, próxima a 100%. As plantas ficam suspensas pelo caule em um suporte, e as raízes são mantidas dentro de câmaras opacas protegidas da luz, para evitar o desenvolvimento de algas. Este sistema é pouco utilizado comercialmente devido ao custo de implantação e dificuldades operacionais. Algumas pessoas, inadequadamente, costumam confundir aeroponia com hidroponia vertical (Bezerra Neto & Barreto, 2000). Qualquer sistema de cultivo, seja NFT, aeroponia, aeração estática, etc. pode ser chamado de cultivo vertical, desde que se disponha as plantas em camadas verticais (Figura 4).

Cultivo por submersão e drenagem (flood and drain). É uma técnica de cultivo sem substrato, de forma que as plantas são cultivadas em vasos, com as raízes completamente submersas na solução nutritiva, semelhantemente à técnica de aeração estática, porém diferindo desta porque intermitentemente a solução nutritiva é completamente drenada para o depósito e em seguida bombeada novamente para encher os vasos onde são cultivadas as plantas (Figura 5). Neste sistema de cultivo não há necessidade de bombear o ar para arejar as raízes porque as mesmas conseguem respirar após cada drenagem da solução nutritiva.

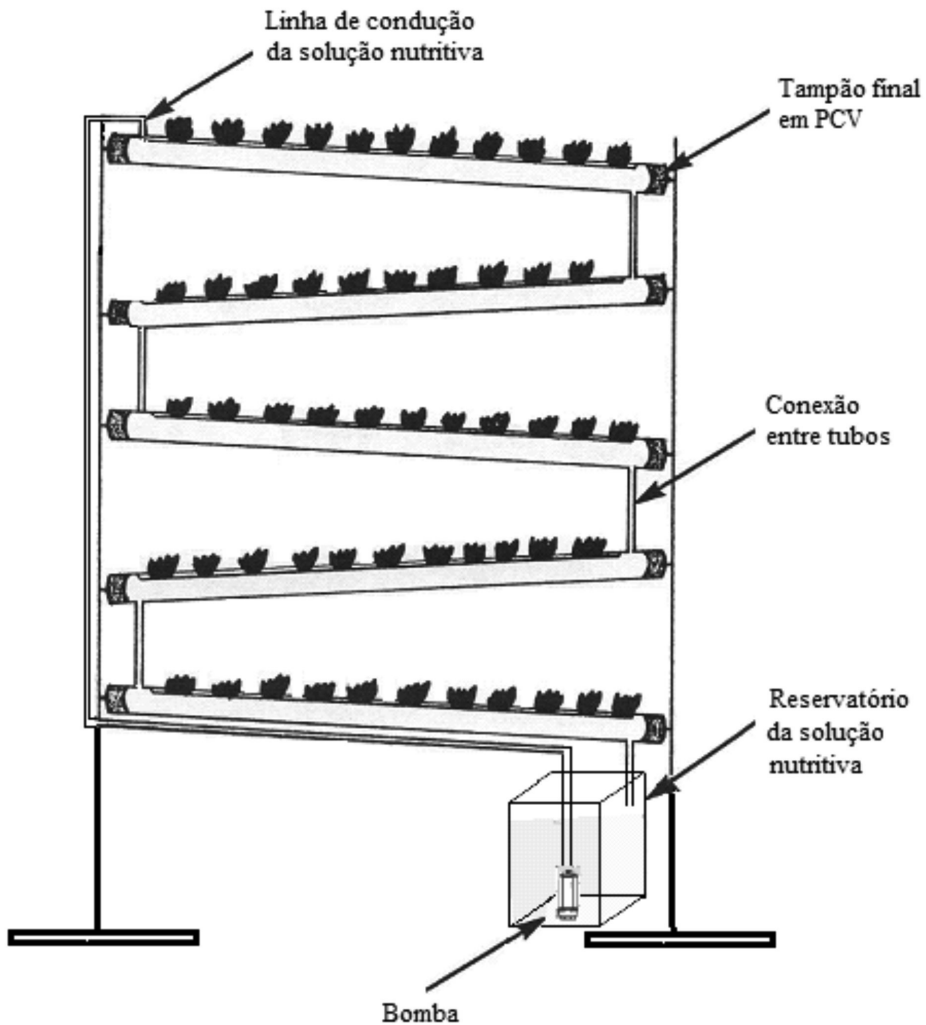


Figura 3. — Sistema NFT de cultivo hidropônico em disposição vertical.

Cultivo com substratos. Neste sistema as plantas são cultivadas em vasos, e utiliza-se um substrato inerte ou pouco ativo quimicamente como areia lavada, cascalho e argila expandida, para dar sustentação às plantas. É considerado um sistema de cultivo aberto, isto é, a solução nutritiva não retorna para o depósito. O fornecimento da solução nutritiva pode se dar de diversas formas, como por exemplo: capilaridade, gotejamento, inundação e circulação. Diversos recipientes podem ser usados no cultivo com substratos: vasos, tubos de PVC, canaletas, filmes plásticos, canteiros de alvenarias, telhas, sacos, etc. Os canteiros podem ser suspensos ou ao nível do solo e

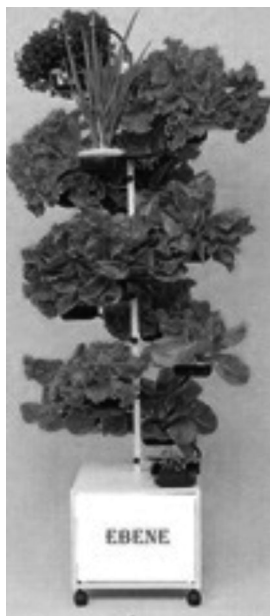


Figura 4. — Sistema de cultivo hidropônico com substrato em disposição vertical e reutilização da solução nutritiva.

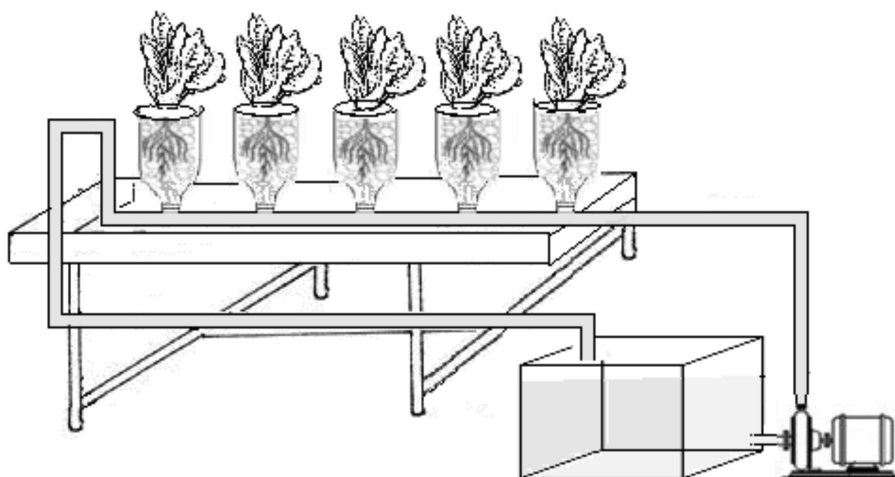


Figura 5. — Modelo de cultivo hidropônico por submersão e drenagem, empregando garrafas PET.

de modo geral, são usados para culturas que têm o sistema radicular e a parte aérea mais desenvolvidos, como o tomate, pepino, pimentão, uva, etc. Para ser considerado como um cultivo hidropônico, o substrato deve ser inerte, diferentemente da fertirrigação aplicada em solos. Recentemente, a EMBRAPA desenvolveu um

sistema semi-hidropônico para cultivo de morango, no qual são utilizadas bolsas plásticas contendo substrato orgânico irrigado com solução nutritiva (EMBRAPA, 2004; EMBRAPA, 2006), e esta forma de cultivo vem sendo utilizada com sucesso por vários produtores de morango (Piraí do Sul, 2012).

6. SUBSTRATOS

As plantas terrestres utilizam o solo como meio natural para o desenvolvimento do sistema radicular, encontrando nele suporte, fonte de água e de nutrientes, necessários para o seu crescimento. O cultivo de plantas na ausência de solo consiste em substituí-lo por outro substrato, natural ou artificial, líquido ou sólido, que proporcione às plantas condições que possam substituir o solo para o desenvolvimento das mesmas. No cultivo hidropônico, o substrato deve ser inerte, como por exemplo areia, vermiculita, cascalho, brita, lâ-de-rocha ou misturas diversas (Cortez & Araújo, 2002). A escolha do substrato tem uma importância fundamental para o desenvolvimento das plantas. O substrato mais adequado deverá atender às seguintes características: ser inerte quanto ao fornecimento de nutrientes, ter pH neutro e apresentar retenção de água e porosidade adequadas para oxigenação das raízes, oferecer sustentação para a muda e proteger as raízes dos danos físicos (Furlani *et al.*, 1999).

Areia. É um material mineral relativamente barato, apresenta baixa capacidade de retenção de água, bastante uniforme, formado por partículas com diâmetro entre 0,6 e 3,0 mm. É bastante empregado no cultivo hidropônico, especialmente em pesquisas científicas, em virtude de ser bastante inerte e facilidade para remoção das raízes. Para as pesquisas com nutrição mineral de plantas, geralmente se recomenda que a areia seja lavada vigorosamente, inclusive com solução de ácido clorídrico (3 a 5 %). E, neste caso, é importante escolher a areia de quartzo, evitando a do tipo calcário e areia de praia, as quais podem causar problemas com o pH da solução nutritiva (Schulz, 2008).

Cascalho. É um material mineral formado por partículas de diâmetro maior do que 3,0 mm, comumente empregado na construção civil e que também tem sido bastante empregado como substrato para o cultivo hidropônico.

Brita. É um material bastante utilizado nas construções civis e também no cultivo hidropônico como substrato. Assim como no caso da areia, recomenda-se evitar brita oriunda de rochas calcárias e mármore devido seu efeito na elevação do pH (Schulz, 2008).

Vermiculita. É um tipo de argila preparada para cultivo hidropônico, após a sua expansão a alta temperatura. É um material leve, com pH variando de 6,0 a 9,5 e tem boa capacidade de troca de cátions. Pode ser utilizada pura ou em mistura com outros materiais.

Espuma fenólica. É um material orgânico (espuma polifenólica, de uréia-formaldeído ou de poliestireno), inerte, apresenta pH ácido, e de manejo fácil e rápido, comercializado na forma de placas de 32 x 40 cm, com espessuras de 2 ou 4 cm e com as células pré-marcadas nas dimensões 2 x 2 cm, o que resulta em 320 células por placa. No caso da utilização da espuma fenólica, antes da semeadura as placas devem ser tratadas com uma base e lavadas em água limpa, para a retirada de materiais ácidos utilizados na sua fabricação (Bezerra Neto *et al.*, 2010). A espuma fenólica é bastante empregada no preparo de mudas para cultivo hidropônico, em virtude de poder ser transplantada conjuntamente com a muda para o local definitivo, protegendo assim o sistema radicular (Figura 6). Apresenta a vantagem de não deixar resíduos na solução nutritiva (Schulz, 2008).



Figura 6. — Espuma fenólica com uma plântula em condições de ser transplantada.

Lã-de-rocha. A lâ-de-rocha é um material fabricado a partir de rochas basálticas, possui uma elevada porosidade e grande capacidade de absorção de água, nutrientes e ar nas proximidades do sistema radicular das plantas, é uma estrutura compacta, bastante homogênea e quimicamente inerte (Schulz, 2008).

Argila expandida. A argila expandida é um agregado leve de formato esférico, possui larga utilização na agricultura e principalmente na hidroponia pelo seu grande potencial de reter umidade. Apresenta pH neutro e boa capacidade de troca de cátions.

Perlita. A Perlita é um mineral de origem vulcânica, que expandido através do calor resulta num produto leve e branco em forma de grãos. A perlita é inerte, possui pH neutro e elevada capacidade de aeração do meio de cultivo. Cada partícula da perlita é composta por pequenas células de ar que não absorve água, mas que a retém em seu exterior. Quando observada de perto a superfície da perlita é formada de pequenas cavidades onde a água fica retida e disponível para as raízes das plantas (Schulz, 2008).

Pó de coco. É um substrato de grande acesso e por isso seu valor comparado com outros substratos é reduzido. Não é totalmente inerte, com boa aeração e possui uma alta capacidade de troca catiônica. Durante a sua utilização dá-se liberação de potássio que ocasionalmente pode ser desconsiderado no planejamento da composição da solução nutritiva (Schulz, 2008).

Serragem. A serragem de madeira pode ser usada como substrato para plantas em geral, porém, recomenda-se efetuar previamente uma lavagem para remover taninos, que geralmente são acumulados na casca e lenho de várias espécies arbóreas. Tem boa drenagem e algumas apresentam o pH alcalino.

Casca de arroz. A casca de arroz carbonizada é considerada um bom substrato por apresentar características físicas tais como permitir a penetração e a troca de ar na base das raízes; por ser suficientemente firme e densa para fixar a semente ou estaca; ter coloração escura e formar sombra na base da estaca; ser leve e porosa permitindo boa aeração e drenagem; ter volume constante seja seca ou úmida; ser livre de plantas daninhas, nematóides e patógenos; não necessitar de tratamento químico para esterilização, em razão de ter sido esterilizada com a carbonização. É importante lembrar que a casca de arroz possui uma pequena quantidade de potássio e silício, podendo ser considerada desprezível (Schulz, 2008).

Bagaço de cana de açúcar. O bagaço de cana de açúcar triturado é um excelente substrato para o cultivo de forragem hidropônica, em virtude de que o mesmo

pode e deve ser fornecido para o gado, conjuntamente com a própria forragem hidropônica. Da mesma forma pode ser utilizado o capim seco (feno) triturado.

Ao contrário dos substratos empregados na hidroponia, os substratos destinados aos trabalhos de jardinagem, não necessitam de ser inertes quimicamente, sendo muitos deles enriquecidos com esterco ou outros materiais com elevada CTC. Atualmente, encontram-se no mercado substratos formulados pelos mais variados tipos de materiais e proporções de misturas sem quaisquer restrições quanto à origem desses componentes ou composição de misturas. Isso ocorre porque as normas para produção e fiscalização de substratos no Brasil, ainda não estão definidas (Fabri *et al.*, 2004).

Com relação à CTC, esta é definida como a quantidade de cátions presentes na superfície do substrato e que podem ser trocados com os cátions da solução nutritiva. Quanto maior a CTC do substrato, menor deve ser a frequência da fertirrigação. Como as soluções nutritivas não têm boa capacidade tampão, o pH destas varia continuamente, não se mantendo dentro de uma faixa ideal. Variações na faixa de 4,5 a 7,5 são toleradas, sem problemas ao crescimento das plantas. Valores abaixo de 4,0 afetam a integridade das membranas celulares e valores superiores a 6,5 contribuem para a indisponibilização de Fe, P, B e Mn (Furlani *et al.*, 1999).

7. NUTRIÇÃO MINERAL DAS PLANTAS

As plantas terrestres, como seres autótrofos, nutrem-se de elementos químicos absorvidos normalmente do solo, pelas raízes. Os elementos químicos possíveis de serem absorvidos pelas plantas são classificados em elementos essenciais, elementos benéficos e elementos tóxicos (Malavolta, 2006). Os *elementos essenciais*, em número de 17, são aqueles sem os quais a planta não completa o seu ciclo de vida. Em função da quantidade que as plantas necessitam, os nutrientes essenciais são classificados como macronutrientes (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg e S) ou micronutrientes (B, Cl, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, e Zn). Os *elementos benéficos ou úteis* são aqueles, sem os quais as plantas conseguem completar o ciclo de vida, mas em dadas condições a sua presença pode ajudar no crescimento e aumentar a produção. Além desses nutrientes, o sódio é um macronutriente para as espécies halófitas acumuladoras de sódio e micronutriente para as espécies de metabolismo fotossintético C₄ e CAM (Epstein & Bloom, 2006). Como elementos benéficos podem ser citados, o sódio para as plantas natrofilicas como nabo e beterraba, silício para gramíneas e também para alface hidropônica, selênio para as plantas seleníferas (*Astragalus spp*), o cobalto para as leguminosas, e o

alumínio para a planta do chá (*Camellia sinensis*). Os *elementos tóxicos* não são essenciais e nem benéficos, e mesmo em baixas concentrações causam problemas de toxidez para as plantas. Como exemplos de elementos tóxicos podem ser citados: Cd, Br, Pb, Hg, I, F, etc.

Os nutrientes essenciais são assim chamados porque as plantas necessitam de todos eles para completar o ciclo de vida. Todos os nutrientes essenciais desempenham pelo menos uma ou várias funções na vida das plantas, isto é, ou fazem parte de um composto ou de uma reação crucial à vida das plantas (Marschner, 1995). A seguir são descritas algumas das funções e forma de absorção dos nutrientes essenciais.

Carbono, hidrogênio e oxigênio. Estes são chamados de elementos organógenos porque compõem cerca de 99 % da matéria orgânica das plantas, e portanto todos os compostos orgânicos das plantas, exceto os hidrocarbonetos, contêm estes três elementos. O carbono e oxigênio são absorvidos do gás carbônico atmosférico e o hidrogênio é absorvido da água.

Nitrogênio. Faz parte dos aminoácidos, proteínas, nucleotídeos, etc., e como componente das enzimas participa do metabolismo geral das plantas. É absorvido principalmente na forma de nitrato e amônio.

Fósforo. É absorvido na forma de fosfato e é componente dos nucleotídeos, fosfoproteínas, lipoproteínas, etc. Participa da síntese dos carboidratos e tem função no armazenamento de energia nas plantas.

Potássio. É absorvido na forma catiônica de K^+ , e tem função na abertura e fechamento dos estômatos, como um regulador osmótico e na catálise de várias enzimas. Não faz parte de nenhum composto orgânico.

Cálcio. É absorvido na forma catiônica de Ca^{2+} , atua na catálise de enzimas, e como componente das membranas celulares tem um papel importante na seletividade.

Magnésio. É absorvido na forma catiônica de Mg^{2+} , atua na catálise de várias enzimas, participa da fotossíntese, como componente da molécula de clorofila.

Enxofre. É absorvido pelas plantas na forma de sulfato, é componente de aminoácidos, sulfoproteínas, grupo ativo de enzimas e coenzimas.

Ferro. É absorvido nas formas de Fe^{2+} e Fe^{3+} , participa de grupo ativo de enzimas, como a nitrogenase, e dos citocromos, atua no sistema de transporte de elétrons e é necessário à síntese da clorofila. Precipita facilmente nas soluções nutritivas, quando fornecido na forma de sais inorgânicos, sendo, portanto altamente recomendado que seja fornecido na forma quelatizada.

Cobre. É absorvido na forma de Cu^{2+} , atua como ativador enzimático, componente

da polifenoloxidase.

Manganês. É absorvido na forma de Mn^{2+} , é componente da manganina e desempenha função na fotossíntese e no ciclo dos ácidos tricarbóxicos. O nível crítico de deficiência do manganês é na faixa de 10 a 20 $mg\ kg^{-1}$ da matéria seca, enquanto que o nível crítico de toxidez varia amplamente com a espécie: 200, 600, 750, 1380 e 5300 $mg\ kg^{-1}$ da matéria seca, respectivamente para milho, soja, algodão, batata doce e girassol.

Zinco. Atua como ativador enzimático (anidrase carbônica, aldolase, triptofano sintetase e RNA-polimerase). É absorvido na forma de Zn^{2+} , porém quando fornecido na forma de Zn-EDTA, a sua absorção é várias vezes maior (Marschner, 1995). A absorção desse micronutriente pode ser inibida quando a concentração de cálcio é muito elevada. O nível crítico de deficiência e de toxidez de zinco é respectivamente abaixo de 20 e acima de 500 $mg\ kg^{-1}$ de matéria seca.

Boro. É absorvido principalmente na forma de H_3BO_3 em pH menor que 7 ou $H_4BO_4^-$ em pH maior que 7) e tem função no transporte dos carboidratos, na síntese de hemiceluloses, lignina e RNA (Epstein & Bloom, 2006; Prado, 2008).

Cloro. É absorvido na forma de Cl^- e participa da fotossíntese. Não faz parte de nenhum composto orgânico. A adição deste micronutriente às soluções nutritivas não é motivo de preocupação, em virtude de sua presença como contaminante de alguns fertilizantes, água e atmosfera, e como íon acompanhante de alguns nutrientes essenciais.

Níquel. É absorvido na forma de Ni^{2+} e como componente da urease tem função no ciclo da uréia. É especialmente importante para as plantas supridas com uréia, e atua na hidrólise da uréia oriunda do catabolismo do aminoácido arginina. Seu teor nas plantas normalmente varia entre 0,1 e 1,0 $mg\ kg^{-1}$ da matéria seca. A sua adição às soluções nutritivas não tem sido motivo de preocupação, até a presente data, possivelmente porque a necessidade da planta é satisfeita pelo níquel contido na semente.

A deficiência dos nutrientes minerais pode ser diagnosticada nas plantas pelos sintomas visuais ou mediante análise química, cujos resultados devem ser comparados com os de plantas saudáveis e bem nutridas (Tabela 2 e 3). O estado nutricional das plantas reflete a disponibilidade e interação entre os nutrientes no solo, ou na solução nutritiva para o cultivo hidropônico. A diagnose nutricional está associada com a mobilidade dos nutrientes no floema (Tabela 4), de forma que os sintomas de deficiência dos nutrientes móveis se manifestam inicialmente nas folhas mais novas,

e a recíproca é verdadeira.

Tabela 2. — Teores dos macronutrientes essenciais considerados adequados para algumas culturas.

Cultura	N	P	K	Ca	Mg	S
	g kg ⁻¹					
Abacate	17,5– 18,5	0,8 – 2,5	7,5 – 20,0	10,0 – 30,0	2,5 – 8,0	2,0 – 6,0
Abacaxi	20,0– 22,0	2,1 – 2,3	25,0 – 27,0	3,0 – 4,0	4,0 – 5,0	2,0 – 3,0
Abóbora ^(a)	30,0– 35,0	6,0 – 7,0	24,0 – 26,0	48,0 – 49,0	9,0– 10,5	-
Alface	34,0– 40,0	4,0 – 6,0	50,0 – 80,0	14,0 – 20,0	3,0 – 7,0	-
Algodão	32,0	1,7	15,0	20,0	5,0	4,0
Alho	30,0–50,0	3,0	20,0–40,0	1,0–6,0	1,5–3,0	3,0–15,0
Amendoim	40,0	2,0	15,0	20,0	3,0	2,5
Arroz	30,0–40,0	1,4–2,7	14,0–28,0	1,6–3,9	1,2–2,1	1,7–2,0
Aspargo	29,5–49,0	1,8–3,5	11,6–26,4	8,6–17,6	2,7–7,0	-
Banana	26,0	2,2	28,0	6,0	3,0	2,0
Batata	55,0–65,0	3,5–5,5	45,0–65,0	10,0–20,0	3,0–5,0	-
Cacau	28,0	2,0	33,0	3,0	4,0	3,0
Café	28,0	1,2	18,0	10,0	3,5	2,0
Cana de açúcar	16,0	1,2	12,0	4,0	2,0	2,0
Cebola	25,0–35,0	2,5–4,0	25,0–50,0	15,0–35,0	3,0–5,0	-
Cenoura	26,0	3,1	29,0 – 33,0	14,0 – 30,0	3,0 – 5,5	-
Citros	22,0	1,2	10,0	30,0	3,0	2,0
Coco	17,0	1,0	5,0	5,0	3,0	-
Couve-flor	25,0	5,0	25,0	35,0	-	-
Feijão arranca	30,0–50,0	2,0–3,0	20,0–25,0	15,0–20,0	4,0–7,0	5,0–10,0
Feijão corda	18,0–22,0	1,2–1,5	30,0–35,0	50,0–55,0	5,0–8,0	1,5–2,0
Goiaba	22,0–26,0	1,4–1,9	14,0–20,0	7,0–15,0	2,5–4,0	2,5–3,5
Mamão/limbo	45,0–50,0	5,0–7,0	25,0–30,0	20,0–22,0	10,0	4,0–6,0
Mandioca	51,0–58,0	3,0–5,0	13,0–20,0	7,5–8,5	2,9–3,1	2,6–3,0
Manga	12,0–13,0	1,2–1,4	4,0–6,0	30,0–33,0	5,0–6,0	1,6–1,8
Maracujá	40,0–50,0	4,0–5,0	35,0–45,0	15,0–20,0	3,0–4,0	3,0–4,0
Milho	27,5–32,5	2,5–3,5	17,5–22,5	2,5–4,0	2,5–4,0	1,5–2,0
Pepino ^(a)	30,0–35,0	6,0–7,0	24,0–26,0	48,0–49,0	9,0–10,5	-
Pimentão	30,0–45,0	3,0–7,0	40,0–54,0	4,0–6,0	10,0–17,0	-
Soja	45,0–55,0	2,6–5,0	17,0–25,0	4,0–20,0	3,0–10,0	2,5
Sorgo	13,0–15,0	4,0–8,0	25,0–30,0	4,0–6,0	4,0–6,0	8,0–10,0
Tomate	30,0	3,5	40,0	14,0–18,0	4,0	3,0
Videira/limbo	15,0–25,0	2,0–4,0	12,0–20,0	20,0–35,0	3,0–6,0	-
Videira/peciolo	25,0–27,0	2,0–4,6	15,0–20,0	12,0– 40,0	3,0–4,0	2,0–3,0

(a): folha com pecíolo.

Fonte: CAVALCANTI, F.J. de A. et al. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA. 2008. p 64.

Tabela 3. — Teores dos micronutrientes essenciais considerados adequados para algumas culturas.

Cultura	B	Cu	Fe	M	Zn
 mg.kg ⁻¹				
Abacate	15–100	5–15	50–200	30–500	30–150
Abacaxi	30–40	9–12	100–200	50–200	10–15
Alface	25–55	10–80	50–500	30–200	25–150
Algodão	50	8	-	-	30
Alho	50	25	200	100	75
Amendoim	140–180	-	-	110–440	-
Arroz	-	-	89–193	237–744	22–161
Aspargo	25–211	6–11	-	72–173	16–30
Banana	15	8	70	-	20
Batata	30–60	6–20	70–150	50–300	20–60
Cacau	32	15	-	-	30
Café	40	6	70	50	10
Cana-de-açúcar	10	6	100	50	10
Cebola	30–45	6–20	-	-	20–55
Cenoura	29–35	5–7	120–350	190–350	20–50
Citros	50	6	60	25	25
Couve-flor	40	5	-	60	-
Feijão de arranca	30–60	10–20	100–450	30–300	20–100
Feijão corda	150–200	5–7	700–900	400–425	40–50
Goiaba	20–25	10–40	50–150	80–180	25–35
Mamão/limbo	15	11	291	70	43
Mandioca	30–60	6–10	120–140	50–120	30–60
Manga	30	30	70	120	90
Maracujá	40–50	10–20	120–200	400–600	25–40
Milho	15–20	6–20	50–250	50–150	15–50
Pimentão	40 – 100	10 – 20	-	26 – 300	35 – 260
Soja	21 – 55	10 – 30	51 – 350	21 – 100	21 – 50
Sorgo	20	10	200	100	20
Tomate	50–70	10–15	500–700	250–400	60–70
Videira/limbo	25–40	12–20	60–180	80–120	25–60
Videira/pecíolo	30–100	> 6	-	400–100	25–40

(a): folha com pecíolo.

Fonte: CAVALCANTI, F.J. de A. et al. Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco. Recife: Instituto Agrônomo de Pernambuco – IPA. 2008. p 64.

Tabela 4. — Mobibilidade dos nutrientes minerais no floema (adaptado de Marschner, 1995) e classe dos nutrientes por velocidade de absorção da solução nutritiva.

Mobibilidade	<u>Móveis</u>	<u>Intermediária</u>	<u>Imóveis</u>
no floema	N, P, K, Mg, S e Cl	Fe, Mn, Zn, Cu e Mo	Ca e B
Velocidade	<u>Rápida</u>	<u>Intermediária</u>	<u>Lenta</u>
de absorção	N, P, K e Mn	Mg, S, Fe, Zn, Cu e Mo	Ca e B

8. SOLUÇÕES NUTRITIVAS

A solução nutritiva é o meio pelo qual os nutrientes previamente dissolvidos em água são colocados à disposição das plantas e, é tida como uma das partes mais importantes de todo o sistema hidropônico, sendo que o mau uso desta pode acarretar sérios prejuízos para as plantas (Martinez & Silva Filho, 2006; Andriolo, 1999).

A solução nutritiva ideal para cada espécie vegetal pode ser sugerida a partir da determinação da composição química de plantas vigorosas da espécie com que se pretende trabalhar, em seus diversos estádios de desenvolvimento. Toda solução nutritiva deve conter os macro e micronutrientes minerais essenciais, dissolvidos em água em quantidade e proporção balanceada para atender às necessidades da espécie a se cultivar, além de apresentar um pH adequado também à espécie a ser cultivada. As necessidades nutricionais das plantas variam de espécie para espécie, de uma variedade para outra e também com o estágio de desenvolvimento das plantas (Marschner, 1995).

O cultivo hidropônico bem sucedido exige um grande volume de solução nutritiva ou ajuste frequente da solução nutritiva, para impedir que a absorção de nutrientes pelas raízes produza mudanças radicais nas concentrações de nutrientes e no pH do meio. Outro aspecto importante no cultivo hidropônico é o suprimento satisfatório de oxigênio ao sistema radicular, o que pode ser conseguido borbulhando-se vigorosamente ar na solução nutritiva, especialmente no sistema de cultivo com aeração estática. No cultivo hidropônico com substrato, para oxigenação do sistema radicular, recomendam-se cuidados com a drenagem da solução nutritiva (Resh, 2000).

A qualidade química e microbiológica da água é fundamental no cultivo hidropônico. Deve-se evitar o uso de águas salinas e com riscos de contaminação microbiológica.

Ao longo dos anos, muitas formulações têm sido empregadas para as soluções

nutritivas. As primeiras formulações, desenvolvidas por Knop, na Alemanha, incluíam somente KNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KH_2PO_4 , MgSO_4 e um sal de ferro. Naquela época, acreditava-se que tal solução nutritiva continha todos os minerais exigidos pelas plantas, mas aqueles experimentos foram conduzidos com produtos químicos contendo como impureza, outros elementos, hoje reconhecidos como essenciais, como boro ou molibdênio (Taiz & Zeiger, 2009).

Hoagland & Arnon (1950), por seus estudos em nutrição mineral de plantas, desenvolveram duas soluções nutritivas que têm sido usadas amplamente em laboratórios por todo o mundo (Tabela 5). A solução 1 de Hoagland & Arnon fornece nitrato como a única fonte de nitrogênio, enquanto que a solução 2, contém amônio e nitrato, para melhor controle de pH (Epstein & Bloom, 2006). A solução nutritiva de Hoagland & Arnon também foi adaptada para ser usada em experimentos com subtração de nutrientes minerais essenciais, com o objetivo acadêmico de estudar os sintomas de deficiência nutricional (Tabela 6). Atualmente é possível se encontrar na literatura diversas formulações de soluções nutritivas, algumas, específicas para a espécie que se deseja cultivar (Tabela 7).

Tabela 5. — Volumes das soluções estoques empregados no preparo de um litro de cada uma das duas soluções nutritivas de Hoagland e Arnon.

Solução estoque	Concentração	Solução 1	Solução 2
Monoamônio fosfato ($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)	(1,0 M) 115 gL^{-1}	-	1 mL
Fosfato monobásico de potássio (KH_2PO_4)	(1,0 M) 136 gL^{-1}	1 mL	-
Nitrato de potássio (KNO_3)	(1,0 M) 101 gL^{-1}	5 mL	6 mL
Nitrato de cálcio [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$]	(1,0 M) 236 gL^{-1}	5 mL	4 mL
Sulfato de magnésio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)	(1,0 M) 246 gL^{-1}	2 mL	2 mL
Fe-EDTA (*)	-	1 mL	1 mL
Micronutrientes (**)	-	1 mL	1 mL

(*) Solução de Fe-EDTA. Pesar 38,5 g de Fe-EDTA (13% de Fe), dissolver em água destilada e completar o volume para um litro.

(**) Solução de Micronutrientes sem Ferro. Dissolver para um litro, em água destilada: 2,86 g de H_3BO_3 ; 1,81 g de $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$; 0,22 g de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; 0,08 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ e 0,02 g de $\text{H}_2\text{MoO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$. Alternativamente, pode se preparar esta solução, pesando 67g do fertilizante “Quelatec A-Z”® e dissolvendo para 1 litro (solução estoque), em seguida procede-se a diluição de 1 mL desta para preparo de 1 L de solução diluída.

Macronutriente	Concentração	Micronutriente	Concentração
N	15 mM – 210 mgL^{-1}	Fe	89 μM - 5000 μgL^{-1}
P	1 mM – 31 mgL^{-1}	B	47 μM - 518 μgL^{-1}
K	6 mM – 234 mgL^{-1}	Mn	14,37 μM - 790 μgL^{-1}
Ca	4 mM – 160 mgL^{-1}	Zn	0,77 μM – 50,12 μgL^{-1}
Mg	2 mM 48 mgL^{-1}	Cu	0,32 μM – 20,33 μgL^{-1}
S	2 mM – 64 mgL^{-1}	Mo	0,11 μM – 10,66 μgL^{-1}

Solução 1: contém somente nitrato como fonte de nitrogênio, (pH = 5,0 e C.E. = 2,0).

Solução 2: além de nitrato contém amônio como fonte de nitrogênio, (pH = 4,3 e C.E. = 1,3).

Fonte: HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. The Water-cultured method for growing plants without soil. California: California Agricultural Experiment Station, 1950. 32p. (Circular, 347).

Tabela 6. — Volumes das soluções estoques empregados no preparo de um litro das soluções nutritivas de Hoagland e Arnon, modificadas para estudo de deficiência nutricional.

Solução estoque	Volume da solução estoque (mL)							
	Compl. (1)	Compl. (2)	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-Fe
NH ₄ H ₂ PO ₄ (1,0 M)	-	1	-	-	1	-	-	1
Ca(NO ₃) ₂ (1,0 M)	5	4	1	4	5	-	6	4
Mg(NO ₃) ₂ (1,0 M)	-	-	-	2	2	2	-	-
K ₂ SO ₄ (0,5 M)	-	-	5	2	-	4	4	-
KNO ₃ (1,0 M)	5	6	-	2	-	2	2	6
MgSO ₄ (1,0 M)	2	2	2	-	-	-	-	2
KH ₂ PO ₄ (1,0 M)	1	-	1	-	-	1	1	-
CaCl ₂ (1,0 M)	-	-	2	-	-	-	-	-
(NH ₄) ₂ SO ₄ (1,0 M)	-	-	-	-	2	5	-	-
NaNO ₃ (1,0 M)	-	-	-	-	-	-	-	-
Fe-EDTA (3)	1	1	1	1	1	1	1	-
Micronutrientes (4)	1	1	1	1	1	1	1	1

(1) A solução 1 completa contém somente nitrato como fonte de nitrogênio, (pH = 4,6).

(2) A solução 2 completa além de nitrato contém amônio como fonte de nitrogênio, (pH = 4,7).

(3) Solução de Fe-EDTA. Pesar 38,5 g de Fe-EDTA (13% de Fe), dissolver em água destilada e completar o volume para um litro.

(4) Solução de Micronutrientes sem Ferro. Dissolver para um litro, em água destilada: 2,86 g de H₃BO₃; 1,81 g de MnCl₂·4H₂O; 0,22 g de ZnSO₄·7H₂O; 0,08 g de CuSO₄·5H₂O e 0,02 g de H₂MoO₄·H₂O. Alternativamente, pode se preparar esta solução, pesando 67g do fertilizante “Quelatec A-Z” ® e dissolvendo para 1 litro (solução estoque), em seguida procede-se a diluição de 1 mL desta para 1 L de solução diluída.

Tabela 7. — Sugestões de soluções nutritivas para algumas hortaliças cultivadas no sistema NFT.

Fertilizante	Tomate	Pimentão	Berinjela	Pepino	Melão	Alface	Morango
	g 1000L ⁻¹						
Nitrato de cálcio	900	650	750	960	900	950	700
Nitrato de potássio	270	506	632	485	455	900	303
Sulfato de potássio	122	-	-	-	22	-	-
Fosfato de potássio ⁽¹⁾	272	170	204	245	170	272	204
Cloreto de potássio	141	-	-	-	-	-	-
Sulfato de magnésio	216	246	370	418	246	246	246
Nitrato de magnésio ⁽²⁾	228	50	20	-	-	-	-
Fe-EDTA ⁽³⁾	500	500	700	800	500	500	500
Sulfato de manganês	4,23	1,70	2,54	4,23	2,54	1,70	1,70
Bórax	1,90	2,40	2,40	1,90	1,90	2,85	1,90
Sulfato de zinco	1,15	1,15	1,45	1,15	1,15	1,15	1,15
Sulfato de cobre	0,12	0,12	0,19	0,12	0,12	0,19	0,12
Molibdato de sódio	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12

⁽¹⁾ Fosfato de potássio com 35% de K₂O e 53% de P₂O₅;

⁽²⁾ Nitrato de magnésio com 7% de N e 10% de MgO, líquido (1 kg = 770 mL);

⁽³⁾ Solução de Fe-EDTA. Pesar 38,5 g de Fe-EDTA (13% de Fe), dissolver em água destilada e completar o volume para um litro; nesse caso, os valores da tabela são em mL/1000L.

Fonte: Modificada de Castellane e Araújo (1994).

Em cultivos hidropônicos, a composição da solução nutritiva se modifica à medida que a planta absorve seletivamente a água e os nutrientes (Carmello, 1996; Furlani, 1998; Andriolo, 1999). Em virtude disto, surge a necessidade de um monitoramento diário do pH e composição da solução nutritiva.

Um dos aspectos mais importantes no cultivo hidropônico é a concentração e proporção entre os nutrientes minerais presentes na solução nutritiva. A disponibilidade e absorção dos nutrientes minerais são bastante influenciadas pelo pH do meio de cultivo. Na faixa de pH entre 6,0 e 7,0 a disponibilidade é máxima para N, P, K, Ca, Mg, S e B, e não é mínima para Cl, Cu, Fe, Mn, Mo e Zn (Figura 7). Desta forma, é importante monitorar o pH das soluções nutritivas, o que normalmente é feito com uso de um peagâmetro (Figura 8).

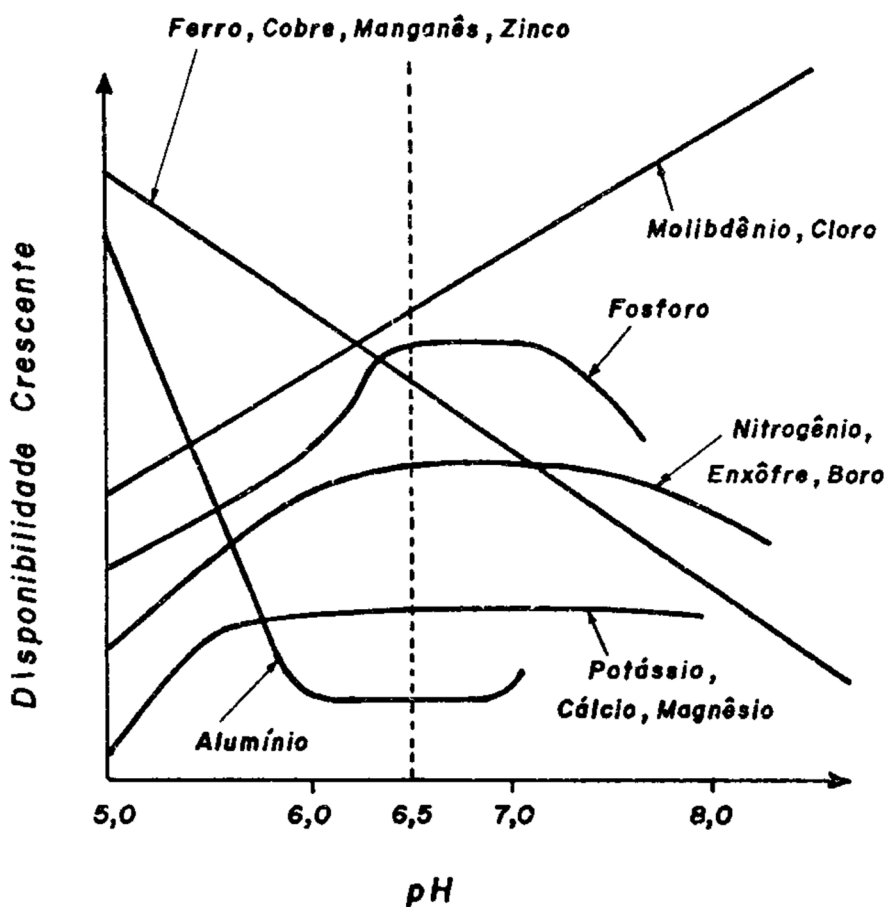


Figura 7. — Relação entre pH e disponibilidade de elementos no solo. Fonte: Malavolta (2006).



Figura 8. — Peagâmetro portátil sendo usado para aferição do pH de uma solução nutritiva.

O termo pH significa potencial hidrogeniônico e diz respeito a concentração de H^+ e consequentemente de OH^- em uma solução. A faixa de pH varia de 0 a 14, sendo que a solução com pH igual a 7,0 tem caráter neutro, abaixo deste valor a solução é ácida, e acima deste valor a solução é alcalina. De um modo geral as plantas têm capacidade de ser cultivadas em uma faixa de pH bastante ampla, como seja de 4 a 8. No entanto o pH ideal para a maioria das culturas se encontra na faixa de 5,5 a 6,5, embora a faixa do pH ótimo seja específico para cada cultura (Tabela 8).

As fontes dos nutrientes (sais, fertilizantes, etc.) empregadas no preparo das soluções nutritivas influenciam não somente o pH das soluções recém preparadas, como também no pH das referidas soluções, com o decorrer do tempo. Isto porque à medida que as plantas absorvem íons das soluções nutritivas, liberam em troca outros íons como H^+ e HCO_3^- . Por exemplo, quando as plantas são cultivadas em solução nutritiva contendo somente NO_3^- como fonte de nitrogênio, o pH da solução nutritiva mantém-se próximo de 8 devido à permuta do nitrato com HCO_3^- . Por outro lado, o cultivo de plantas em solução nutritiva contendo apenas NH_4^+ como fonte de nitrogênio, causa uma diminuição no pH da solução nutritiva,

Tabela 8. — Faixas de pH do solo mais adequadas para algumas culturas.

Cultura	pH					
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
Batata, melancia e chá	←→					
Batata doce	←→					
Arroz	←→					
Fumo	←→					
Morango e seringueira	←→					
Berinjela e leguminosas tropicais	←→					
Abóbora, algodão, nabo, cana-de-açúcar e pimentão	←→					
Feijão, pepino e tomate	←→					
Aveia, gramíneas forrageiras, centeio, cevada, citrus, caupi, milho, soja e sorgo	←→					
Cenoura, couve e repolho	←→					
Abacate, maçã, pera e pêsego	←→					
Cebola e quiabo	←→					
Abacaxi, aipo, alface, aspargo, beterraba, café, cacau, coco, couve flor, dendê, ervilha, espinafre, trevo, trigo e videira	←→					
Alfafa	←→					

Modificado de Malavolta (1980).

atingindo valores abaixo de 4, devido a substituição do NH_4^+ pelo H^+ (Bezerra Neto & Barreto, 2000). Em geral, não é recomendável que se utilize mais que 20% do N total da solução nutritiva como NH_4^+ , devido ao seu efeito no abaixamento do pH citado anteriormente, como também pelo fato do mesmo ser rapidamente absorvido e boa parte não ser incorporado em compostos orgânicos, causando toxidez (Martinez, 2002), posto que esse cátion é capaz de dissipar os gradientes de prótons transmembrana fundamentais para que ocorra o transporte de elétrons tanto na fotossíntese quanto na respiração (Taiz & Zeiger, 2009).

Um problema importante nas soluções nutritivas é a disponibilidade de ferro. Quando fornecido na forma de um sal inorgânico, como FeSO_4 ou outro sal de ferro, este pode precipitar da solução, ficando indisponível para as plantas. A presença de fosfato na solução nutritiva também contribui para a precipitação do fosfato de ferro. Pesquisadores mais antigos lidavam com este problema adicionando ferro junto com ácido cítrico ou tartárico. Compostos como esses denominam-se quelantes, pois formam complexos solúveis com cátions, como ferro e cálcio, nos quais o cátion é retido por forças iônicas, e não por ligações covalentes. Os cátions quelados, portanto, permanecem fisicamente disponíveis às plantas.

Soluções nutritivas mais modernas são encontradas no mercado, com o ferro

na forma de quelatos, como ácido etilenodiaminotetracético (EDTA) ou ácido dietilenotriaminopentacético (DTPA). O destino do complexo da quelação durante a absorção do ferro pelas células das raízes não é claro. O ferro pode ser liberado do quelante quando é reduzido de Fe^{3+} a Fe^{2+} na superfície radicular. O quelante pode, então, difundir-se de volta à solução nutritiva (ou do solo) e reagir com outro íon Fe^{3+} ou com outros íons metálicos (Taiz & Zeiger, 2009).

Como a composição química da solução nutritiva varia em função da absorção seletiva de água e dos nutrientes minerais, há uma necessidade do monitoramento diário da composição química da solução nutritiva, assim como se faz o monitoramento do pH (Costa *et al.*, 2001). O ideal seria analisar diariamente a concentração de cada um dos nutrientes minerais na solução nutritiva em uso, e então repor apenas a quantidade absorvida de cada nutriente mineral. Contudo, isto é um tanto trabalhoso e muitas vezes se torna inviável financeiramente. Para resolver esta situação, recomenda-se aferir a condutividade elétrica (C.E.) da solução nutritiva, obtendo-se assim uma variável diretamente correlacionada com a concentração total de todos os nutrientes dissolvidos na solução (TDS). Desta forma, é possível estimar se as plantas absorveram seletivamente mais água ou nutrientes minerais, e, portanto repor diariamente a quantidade de água evapotranspirada ou repor mais solução nutritiva. A medida da condutividade elétrica é feita com o uso de um aparelho chamado condutivímetro, equipamento este, bastante comum nas casas de laboratórios, de fácil manuseio e formato semelhante ao peagâmetro (Figura 9).



Figura 9. — Condutivímetro portátil, com correção da temperatura e conversão das leituras para sólidos solúveis totais (TDS).

A concentração ótima de nutrientes de uma solução nutritiva está diretamente relacionada com a demanda evaporativa da atmosfera. Portanto, a definição da concentração a ser utilizada deve ser objeto de estudo, tendo em vista as diferenças genótípicas, ambientais e as demandas associadas às diferentes fases do desenvolvimento de uma cultura (Martinez, 2002). As soluções nutritivas muito concentradas têm o potencial osmótico muito baixo, conseqüentemente dificulta a absorção da água pelas plantas, e portanto o desenvolvimento das mesmas. Por outro lado, as soluções nutritivas muito diluídas, também proporcionam um desenvolvimento das plantas muito lento, devido a baixa concentração dos nutrientes.

Furlani *et al.* (1999) recomendam as seguintes faixas de C.E.: 1,5 a 2,5 para alface, 1,5 a 2 para manjeriço, 3,0 a 3,5 para pepino e melão e 2,5 a 3,0 para tomate. Costa *et al.* (2001) avaliaram no estado de São Paulo o crescimento de alface cultivada hidroponicamente em soluções nutritivas com condutividade elétrica de 1,46; 2,46 e 4,21 dS.m⁻¹, e obtiveram melhor desempenho em termos de biomassa fresca com a solução nutritiva que apresentava 2,46 dS.m⁻¹.

Magalhães *et al.* (2010) avaliaram o desempenho de sete cultivares de alface (Babá de Verão, Floresta, Luisa, Manoa, Regina 579, Saia Véia e Vitória Verdinha) em cultivo hidropônico utilizando duas condutividades elétricas, e verificaram que a condutividade elétrica de 2,5 dS.m⁻¹ proporcionou maiores produções de biomassa fresca em todas as cultivares avaliadas, as quais produziram em média cerca de duas vezes mais que as plantas cultivadas em condutividade elétrica de 2,0 dS.m⁻¹.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRIOLO, J.L. Fisiologia das culturas protegidas. Santa Maria. UFSM. 1999.

ARAÚJO *et al.* Forragem hidropônica de milho cultivado em bagaço de cana e vinhoto.

Revista Brasileira de Milho e Sorgo 7(3):251–264. 2008.

BACKES, F.A.A.L., BARBOSA, J.G., CECON, P.R., GROSSI, J.A.S., BACKES, R.L. & FINGER, F.L. Cultivo hidropônico de lisianto para flor de corte em sistema de fluxo laminar de nutrientes. Pesquisa Agropecuária Brasileira 42(11):1561–1566. 2007.

BATAGLIA, O. Nutrição mineral de plantas: a contribuição brasileira. O Agrônomo Campinas 55(1). 2003.

BEZERRA NETO, E. & BARRETO, L.P. Técnicas de cultivo hidropônico. Recife. UFRPE. 2000.

BEZERRA NETO, E., SANTOS, R.L., PESSOA, P.M.A., ANDRADE, P.K.B., OLIVEIRA, S.K.G. & MENDONÇA, I.F. Tratamento de espuma fenólica para produção de mudas de alface. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 5:418–422. 2010. (Online).

CAMPÊLO *et al.* Forragem de milho hidropônico produzida com diferentes substratos. *R. Bras. Zootec.* 36(2):276–281. 2007.

CARDOSO, G.G.G. & KLAR, A.E. Potenciais de água no solo na produção de alface. *Revista Irriga* 14(2):170–179. 2009.

CARMELLO, Q.A.C. Cultivo hidropônico de plantas. Piracicaba. ESALQ. 1996.

CASTELLANE, P.D. & ARAÚJO, J.A.C. Cultivo sem solo – hidroponia. Jaboticabal. UNESP/FUNEP. 1994.

CAVALCANTI, F.J.A. *et al.* Recomendações de adubação para o estado de Pernambuco. Recife. Instituto Agrônômico de Pernambuco – IPA. 2008.

COMETTI, N.N. Nutrição mineral da alface (*Lactuca sativa* L.) em cultura hidropônica – sistema NFT. Seropédica. UFRRJ. 2003. (Tese doutorado).

CORTEZ, G.E.P. & ARAÚJO, J.A.C. Hidroponia. In: Zanini, J.R., Villas Bôas, R.L. & FEITOSA FILHO, J.C. Uso e manejo da fertirrigação e hidroponia: Jaboticabal. Funep. 2002.

COSTA, P.C., DIDONE, E.B., SESSO, T.M., CAÑIZARES, K.A.L. & GOTO, R. Condutividade elétrica da solução nutritiva e produção da alface em hidroponia. *Scientia Agricola* 58(3):595–597. 2001.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Embrapa apresenta o Sistema de Produção de Morangos Semi-hidropônicos. 2004. Disponível em: <http://www.embrapa.br/imprensa/noticias/2004/setembro/bn.2004-11-25.371958277_1/> Acesso em 30/03/2012.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Produção de Morangos no Sistema Semi-Hidropônico. 2006. Disponível em: <<http://www.cnpuv.embrapa.br/publica/sprod/MorangoSemiHidroponico/index.htm>> Acesso em 30/03/2012.

EPSTEIN, E. & BLOOM, A. Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas. Londrina. Planta. 2006.

FABRI, E.G., SALA, F.C. & MINAMI, K. Caracterização física e química de diferentes substratos. In: Barbosa, J.G., Martinez, H.E.P., Pedrosa, M.W. & Sediyaama, M.A.N. (Ed.). Nutrição e adubação de plantas cultivadas em substrato. Viçosa. UFV. 2004. pp.318.

FILGUEIRA, F.A.R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2.ed. Viçosa. UFV. 2007.

FURLANI, P.R. Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia NFT. 1.ed. Campinas. IAC. 1998. (Boletim técnico, 168).

FURLANI, A.M.C. Nutrição mineral. In: Kerbaiy, G.B. Fisiologia Vegetal. v.1. Rio de Janeiro. Ed. Guanabara Koogan. 2004.

FURLANI, P.R., BOLONHESI, L.C.P. & FANQUIN, V. Cultivo hidropônico de plantas. Campinas. Instituto Agronômico. 1999. (Boletim técnico, 180).

HOAGLAND, D.R. & ARNON, D.I. The water–culture method for growing plants without soil. California Agricultural Experiment Station Circular 347. In: College of Agriculture. University of California. Berkeley. 1950.

IPA. Instituto Agronômico de Pernambuco. Hidroponia ganha espaço em Pernambuco. 2011. Disponível em: <http://www.ipa.br/noticias_detalhe.php?idnoticia=2901> Acesso em 23/03/2012.

MAGALHÃES, A.G.; MENEZES, D.; RESENDE, L.V. & BEZERRA NETO, E. Desempenho de cultivares de alface em cultivo hidropônico sob dois níveis de condutividade elétrica. Horticultura Brasileira 28:316–320. 2010.

MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Ed. Agron. Ceres. 1980.

MALAVOLTA, E. Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo. Ceres. 2006.

MARSCHNER, H. Mineral nutrition of higher plants. (2nd edition). London. Elsevier Ltd.. 1995.

MARTINEZ, H.E.P. O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa. Viçosa. UFV. 2002.

MARTINEZ, H.E.P. & SILVA FILHO, J.B. Introdução ao cultivo hidropônico de plantas. Viçosa. UFV. 2006.

MARTINS, R.V. História da Hidroponia. Associação Brasileira de Hidroponia, s.d. Disponível em: <<http://www.hydor.eng.br/HISTORIA/C1-P.pdf>> Acesso em 15/03/ 2012.

MÜLLER *et al.* Forragem hidropônica de milho: produção e qualidade nutricional em diferentes densidades de semeadura e idades de colheita. Ciência Rural 36(4):1094–1099. 2006.

PIRAÍ DO SUL. Produtores de morango aprovam sistema semi-hidropônico. 2012. Disponível em: <http://www.piraidosul.pr.gov.br/site/index.php?option=com_content&view=article&id=314:produtores-de-morango-aprovam-sistema-semi-hidroponico&catid=38&Itemid=118> Acesso em 30/03/2012.

PRADO, R.M. Nutrição de plantas. São Paulo. Editora UNESP. 2008.

RESH, H.M. Hydroponic Food Production. Santa Bárbara-Califórnia. Woodbridge Press Pub. Co.. 2000.

RODRIGUES, L.R.F. Cultivo pela técnica de hidroponia. Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido. Jaboticabal. Funep. 2002.

SANTOS, O.S. Conceito, histórico e vantagens da hidroponia. In: Santos, O. Hidroponia da alface. Santa Maria. UFSM. 2000. pp.5-9.

SCHULZ, J. Alternativas de substratos utilizados na hidroponia. 2008. Disponível em: <http://www.portalhidroponia.com.br/index.php?option=com_content&task=view&id=152&Itemid=1> Acesso em 26/10/2011.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 4ª ed. Porto Alegre. Artmed. 2009.

UFRPE. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Pesquisa indica hidroponia com água salobra para Semi-Árido. 2008. Disponível em: <http://www.ufrpe.br/noticia_ver.php?idConteudo=3623> Acesso em 23/03/2012.

UFRB. Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. Nutrição Mineral de Plantas. 2007. Disponível em: <http://www.ufrb.edu.br/nutricao mineral//index.php?option=com_content&task=view&d=31&Itemid=39> Acesso em 24/11/2011.