

---

**CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

---

**CAMILA GENARO ESTEVAM**

**PROPOSIÇÃO PARA CULTIVO HIDROPÔNICO  
EM MOVIMENTO PARA ALFACE ‘BRUNELA’**



Rio Claro  
2016

CAMILA GENARO ESTEVAM

PROPOSIÇÃO PARA CULTIVO HIDROPÔNICO EM MOVIMENTO  
PARA ALFACE BRUNELA

Orientador: Gustavo Habermann

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Instituto de Biociências da Universidade  
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” -  
Câmpus de Rio Claro, para obtenção do grau de  
bacharela em Ciências Biológicas.

Rio Claro  
2016

581.13    Estevam, Camila  
E79p        Proposição para cultivo de alface hidropônico em  
movimento para alface 'Brunela' / Camila Estevam. - Rio  
Claro, 2016  
32 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Ciências  
Biológicas) - Universidade Estadual Paulista, Instituto de  
Biociências de Rio Claro  
Orientador: Gustavo Habermann

1. Plantas – Nutrição. 2. Produção hidrôponica. 3.  
Olericultura. 4. Luz. I. Título.

## Resumo

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa de maior importância econômica no Brasil e a utilização de cultivo em sistema hidropônico vem aumentando cada vez mais. Logo, há uma crescente busca pelo aprimoramento, tanto do sistema quanto dos cultivares e híbridos e de técnicas de manejo, visando a maior adaptação ao clima brasileiro. A interceptação de luz é o processo primordial para a fotossíntese, balanço de carbono e crescimento da planta. Contudo, a interceptação de luz e a utilização da energia luminosa pela planta estão limitadas pela fisiologia do metabolismo fotossintético de plantas de alface. Diante desse contexto, o presente trabalho propõe apresentar métodos já existentes no mercado que visem ao aumento da eficiência luminosa e aumento da produtividade. Também propomos uma nova adaptação ao sistema hidropônico, do tipo *Nutrient Film Technique* (NFT), alterando a disposição linear dos tubos desse sistema, para tubos dispostos circularmente a um eixo central e em movimento para justamente melhorar a eficiência de uso da luz.

## **Abstract**

Lettuce (*Lactuca sativa* L.) is the most economically important leafy vegetable in Brazil and its cultivation in hydroponic systems has been increasing each year. Therefore, there is a growing search of technologies aimed at better adaptation to the Brazilian climate as biotechnology research to develop new cultivars and hybrids and the development of management techniques to produce on a commercial scale. The interception of light is the primary process for photosynthesis, carbon balance and plant growth. However, the light interception and the use of light energy by the plant are limited by the physiology of the photosynthetic metabolism of lettuce plants. In this context, this paper proposes to present existing methods on the market aimed at increasing the luminous efficiency and increased productivity. We also propose a new adaptation to the Nutrient Film Technique hydroponic system. It consists in changing the linear arrangement of the growing tubes for a circular and rotational arrangement of tubes, rouding a central axis in order to produce more plants per unit area and improve the efficiency of light capture.

## SUMÁRIO

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 1-INTRODUÇÃO .....                                             | 4  |
| 2-REVISÃO DA LITERATURA.....                                   | 7  |
| 2.1- Alface.....                                               | 7  |
| 2.2 - Exigências de cultivo.....                               | 8  |
| 2.2.1 - Alta temperatura e fotossíntese.....                   | 9  |
| 2.3 - Fotossíntese – radiação solar convertida em energia..... | 9  |
| 2.4 - Interceptação luminosa.....                              | 11 |
| 2.5 - Sistema Hidropônico.....                                 | 13 |
| 2.6 - Técnica de fluxo laminar de nutrientes (NFT).....        | 14 |
| 3- MATERIAIS E MÉTODOS.....                                    | 16 |
| 4- RESULTADOS E DISCUSSÕES.....                                | 17 |
| 4.1 – Técnicas.....                                            | 17 |
| 4.1.1 – Malhas termo-reflectoras.....                          | 17 |
| 4.1.2 – Suplementação Luminosa com LED.....                    | 19 |
| 4.1.3 – Suplementação com CO <sub>2</sub> .....                | 22 |
| 4.2 – Análise de cada técnica.....                             | 23 |
| 4.3 – Modelo de Banca Hidropônica em Movimento.....            | 25 |
| 5- CONCLUSÃO .....                                             | 27 |
| 6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                            | 28 |

## 1 - Introdução

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a folhosa de maior importância no Brasil com uma área plantada de aproximadamente 35 mil hectares (ha). Seu cultivo é intensivo e atualmente o mercado de sementes de alface é estimado em torno de US\$ 2 milhões anuais (COSTA & SALA, 2005).

A hortaliça é considerada a olerícola folhosa mais importante na alimentação do brasileiro, justificando sua importância econômica. Dentro do grupo das hortaliças folhosas, é líder nacional em comercialização e consumo (AGRIANUAL, 2008). No estado de São Paulo, a produção de alface ocupa 7.859 ha, com uma produção de 137 mil toneladas/ano (SALA; COSTA, 2012). O consumo per capita anual de alface é ainda relativamente reduzido, ficando em torno de 3,1 kg na região metropolitana de São Paulo. No CEAGESP da cidade de São Paulo, são comercializadas 49.977 toneladas, uma média de 161 t por dia (GUTIERREZ; FANALE, 2013).

Originária do Mediterrâneo foi uma das primeiras hortaliças cultivadas pelo homem. Atualmente é explorada em todo território nacional, sendo a principal cultura utilizada em hidroponia no país (SOARES, 2002).

Devido a crescente demanda e o aumento da exigência qualitativa devido às mudanças no hábito alimentar do consumidor, o sistema protegido (em casas de vegetação), principalmente o hidropônico vem ganhando cada vez mais espaço. O cultivo protegido viabiliza a produção durante o ano todo, facilita o manejo da cultura, melhora o aproveitamento dos insumos e controla parcialmente as condições ambientais adversas. Além disso, o produto final é mais limpo, proporcionando ao consumidor maior praticidade na higienização do produto antes do consumo (CASTELLANE & ARAÚJO; 1994, LOPES et al., 2002).

Na região Sudeste, a produção de alface hidropônico tem alcançado seu máximo crescimento, o que pode ser atribuído a uma série de fatores, destacando-se o melhor preço final do produto, maior demanda por produtos de qualidade superior e maior difusão de tecnologia (COMMETI, 2003). Sendo um produto perecível e consumido in natura, a preocupação com a qualidade da alface, seja nutricional, ou sanitária, deve ser mantida em todos os seguimentos envolvidos na produção e comercialização (Resende, 1991).

No sistema hidropônico, o tipo predominante é o sistema NFT – *nutrient film technique*, ou fluxo laminar de nutrientes (FURLANI et al., 1999), em que as raízes ficam submersas em uma fina lâmina de solução nutritiva.

Como vantagens do sistema NFT pode-se citar: o uso de pequenas áreas próximas aos centros urbanos, a obtenção de alta produtividade, produção qualitativa durante todo o ano, redução no uso de defensivos agrícolas, uso eficiente e econômico da água e fertilizantes, menor risco de contaminação por patógenos, dispensa da rotação de culturas e controle de plantas daninhas. Como desvantagem pode-se mencionar o alto custo de implantação do sistema, acompanhamento permanente do sistema, dependência de energia elétrica, fácil disseminação de patógenos pelo sistema e pela própria solução nutritiva (FAQUIN et al., 1999).

Além disso, é conhecido que a interceptação de luz pelas folhas e o uso da luz no metabolismo fotossintético para o crescimento e desenvolvimento da planta é muito reduzido. Há estimativas de que de toda a luz incidente na superfície da Terra, apenas 8-10% pode ser convertido em biomassa (MELIS, 2009), que no caso da alface ainda é dividida entre folhas, um caule muito reduzido e raízes. Essa reduzida eficiência de conversão de luz se deve, primordialmente, ao fato da dissipação de excesso de energia pelas clorofilas e carotenoides, tanto na forma de calor como na de fluorescência (WILHELM e SELMAR, 2011). Deste modo, o aproveitamento geral de luz pelas plantas é muito reduzido e isso inclui tanto a interceptação da luz como a eficiência de conversão desta em biomassa.

Logo, o requerimento de maior produção leva o produtor à buscar novas técnicas de produção em larga escala e com padrões de qualidades mais elevados afim de garantir espaço no mercado, ampliando o mercado de produtos e serviços que visem otimizar a produção em quantidade e qualidade. Métodos que visem aperfeiçoar a eficiência de interceptação luminosa pela planta e maior eficiência do uso da luz acarretam em aumento de fitomassa pela planta e consequentemente, aumentam a produtividade para o produtor.

Atualmente, diversos métodos vêm sendo apresentados pelo mercado com diferentes abordagens e promessas.

Aqui apresentamos olhares críticos aos métodos existentes no mercado que visem ao aumento da eficiência de interceptação luminosa pela planta e maior eficiência de uso da luz (conversão da luz em biomassa). Assim, a contribuição do presente trabalho está associada a uma visão qualitativa para o aumento de

produtividade e otimização do sistema de cultivo de hortaliças. Também discutimos modelos alternativos que, mesmo teoricamente, poderiam melhorar a interceptação de luz e posterior eficiência de uso da luz.

## 2 - Revisão de Literatura

### 2.1 - Alface

A alface pertence à classe Magnoliopsida, ordem Asterales, família Asteraceae, subfamília Cichorioideae, tribo Lactuceae, e gênero *Lactuca* (WIKISPECIES, 2006). A planta é herbácea, delicada, com caule diminuto, ao qual se prendem as folhas. Estas são amplas e crescem em roseta, em volta do caule, podendo ser lisas ou crespas, formando ou não uma “cabeça”, com coloração em diversos tons de verde ou roxa, conforme o cultivar (FILGUEIRA, 2000).

É a principal hortaliça folhosa consumida no Brasil e no mundo. Em 2002 foram produzidas, no mundo, 19.082.624 t, com área plantada de 878.108 ha (FAO, 2003). Quando submetidas à perturbações ambientais, sobretudo elevadas temperaturas, apresenta amargor em suas folhas devido à síntese do sesquiterpenóide lactona, sendo o glicosídeo Lactucin o que mais contribui para o mesmo (RYDER, 1999).

No Brasil a produção de hortaliças está entre as mais praticadas pela facilidade de manuseio de algumas culturas, como é o caso da alface e do agrião (BEZERRA, 2003). Dependendo do cultivar de alface e do manejo, o ciclo pode variar entre 45 a 60 dias. O ciclo curto parece ser um dos principais fatores que justifica ser a hortaliça mais difundida entre os produtores hidropônicos, além do manejo mais fácil, se comparado à outras culturas.

Um fator negativo da produção da alface é devido à sua condição de perecibilidade e de baixa resistência ao transporte, limitando sua produção próxima aos grandes centros consumidores (VIDIGAL et al., 1995).

Atualmente no Brasil, o principal cultivar é do tipo crespa, liderando 70% do mercado. O tipo americana detém 15%, a lisa 10%, enquanto outras (vermelha, mimosa, etc) correspondem a 5% do mercado (SALA & COSTA, 2005). Estes fatos ocorrem devido à sensibilidade de cada tipo, sendo a crespa e americana mais robustas, devido à sua arquitetura e por possuírem folhas mais espessas, diferente de tipos como lisa e mimosa que apresentam folhas finas e delicadas, dificultando o transporte e armazenamento.

Levando tais fatores em conta, a empresa de sementes FERCAM® junto com a Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), através de cruzamento genético,

buscou criar um cultivar que apresentasse grande resistência, sabor e facilidade ao produtor, o cultivar 'Brunela'.

A alface cv. 'Brunela' destaca-se por apresentar folhas com textura e crocância equivalente a da alface Americana e flabeladas como a do tipo alface crespa. Suas folhas são de coloração verde claro típica das crespas convencionais e com ondulações nos bordos foliares. Com isso, há possibilidade de aproveitamento comercial superior a 80% das folhas. Sendo uma alface 'Crocante', não forma cabeça no verão, como a alface americana. Essa característica parece ser uma de suas vantagens no cultivo de verão quando as perdas pelos alfacicultores são elevadas. Considerada um cultivar tropicalizado e de pendoamento lento, é recomendada para cultivo no verão em pleno campo no sistema convencional de canteiros, cultivo protegido e hidropônico, destacando-se com superioridade em relação às crespas convencionais. (SALA; COSTA, 2012).

## **2.2 – Exigências de cultivo**

A alface é uma planta muito sensível às condições climáticas. Fatores como fotoperíodo, intensidade de luz, concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), e, particularmente, a temperatura influenciam acentuadamente no crescimento e no desenvolvimento da planta de alface (PANDURO, 1986; MULLER, 1991).

Segundo Reisser Jr. (1991), temperaturas entre 15°C e 20°C são ótimas para o crescimento da alface, sendo temperaturas noturnas inferiores a 15°C importantes para o estágio de "formação de cabeça". Já para Oda e Aoki (1988), observam que o maior acúmulo de fitomassa fresca em alface foi verificado em temperaturas diurnas entre 25°C e 30°C, por causa da taxa fotossintética ser ótima nesse intervalo e com déficit de pressão de vapor do ar de 0,4KPa e sob várias intensidades de luz.

Delistoianov (1997) destaca que em condições de temperatura acima de 30°C, a alface antecipa a emissão da haste floral, comprometendo o crescimento vegetativo e desqualificando o produto devido ao excessivo acúmulo de látex.

Com relação à temperatura no sistema hidropônico de cultivo, BLISKA Júnior & Honório (1996), recomendam que a temperatura da solução nutritiva não ultrapasse 30 °C sob pena de causar danos às plantas.

A qualidade e a quantidade de radiação solar global incidente que atinge o dossel vegetativo podem limitar o acúmulo de biomassa. Valores abaixo de 8,4 MJ

$\text{m}^{-2}\text{dia}^{-1}$  são considerados limitantes para o crescimento das hortaliças de verão. (FAO, 1990). A alface apresenta baixo ponto de saturação lumínica, correspondendo a  $800\mu\text{mol f\acute{o}tons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , permitindo que a cultura fotossintetize sob baixa luminosidade (SANCHES et al, 1989).

O aumento excessivo da luz acima da capacidade de utilização pela fotossíntese pode resultar em uma condição de estresse conhecida como fotoinibição. A quantidade de energia radiante que atinge o complexo coletor de luz dos fotossistemas pode conduzir a um ganho ou perda na eficiência das reações fotoquímicas dos centros de reação da clorofila (LEMOS FILHO, 2000).

### **2.2.1 – Alta temperatura e fotossíntese**

A fotoinibição da fotossíntese in situ pode ocorrer em pleno sol mesmo na ausência de outros fatores estressantes, ainda que a temperatura foliar possa ser alta (POWLES 1984). Quando a temperatura se eleva acima do ótimo, a fotossíntese começa a decrescer gradual e reversivelmente, no início, e paulatina e irreversivelmente, sob alguma temperatura crítica. Segundo Barber & Andersson (1992) e Long et al. (1994), a inativação reversível da fotossíntese é um reflexo de dano nas reações dos cloroplastos, o qual persiste por algum tempo após o retorno às condições de temperaturas favoráveis.

A exposição de plantas jovens à alta incidência luminosa associada à altas temperaturas pode levar a queda do potencial da água nas folhas, causada por alta demanda evaporativa e envolvimento do controle estomático (VALLADARES & PEARCY 1997). As temperaturas consideradas moderadamente altas ( $35$  a  $42^{\circ}\text{C}$ ) podem causar danos diretos ao aparato fotossintético (Wise et al. 2004), por provocar mudanças na membrana do tilacóide e alterar as propriedades físico-químicas e, também, a organização funcional dessas estruturas celulares. Sob temperaturas elevadas, a taxa máxima de assimilação de carbono pode ser inibida pela reduzida condutância estomática (LAW & CRAFTS-BRANDER 1999).

### **2.3 – Fotossíntese – radiação solar convertida em energia**

As plantas são organismos capazes de aproveitar a energia solar por meio da fotossíntese para produção de energia. A radiação que chega à superfície terrestre

utilizada pelas plantas para o processo fotossintético (faixa visível, 400 nm–700 nm) denominada de densidade de fluxo de fótons fotossinteticamente ativos (DFFFA) corresponde a aproximadamente 45%-50% do total da radiação solar incidente sendo pouco absorvida pela água e CO<sub>2</sub>, mas bastante utilizada pelas clorofilas e pigmentos acessórios (carotenoides), denominados de pigmentos fotossintéticos (TAIZ; ZEIGER, 2004; NATHAN; YOCUM, 2006).

Nas plantas, a DFFFA é interceptada por moléculas de clorofilas e carotenoides, que juntamente com proteínas estruturais, constituem o complexo antena. Essa energia é direcionada para os centros de reações, onde todo esse processo é conhecido como esquema Z (BLAKENSHIP; PRINCE, 1985). As plantas possuem dois centros de reações: o fotossistema I (PSI) e o fotossistema II (PSII), que funcionam em série. As clorofilas do centro de reação do PSII apresentam pico máximo de absorção de 680 nm e do PSI de 700nm. O PSII oxida a água a oxigênio molecular. Os prótons (da quebra da água) contribuem com cargas (forma-se um gradiente eletroquímico) que por meio de enzimas levam à produção de ATP. Os elétrons (da oxidação da água) reduzem o NADP<sup>+</sup> a NADPH. Assim, a energia luminosa é conservada na forma de ATP e na forma de coenzimas orgânicas (NADPH). Posteriormente, estes substratos serão utilizados no ciclo de Calvin e Benson, onde CO<sub>2</sub> e água são combinados com a ribulose-1,5-bifosfato, formando duas moléculas de 3-fosfoglicerato, as quais são reduzidas e convertidas a carboidratos e/ou esqueletos carbônicos para rotas de biossíntese. Embora a radiação solar seja lembrada apenas como um agente capaz de fornecer poder redutor para produzir energia, ela também desempenha um papel importante na ativação de enzimas que estão envolvidas no processo fotossintético, principalmente a ribulose 1,5 bifosfato (carboxilase/oxigenase (Rubisco) (DINER; RAPPAPORT, 2002).

Diante de tais considerações fisiológicas é importante salientar que as plantas são divididas em espécies que possuem diferentes capacidades de aproveitar a radiação solar, água e nutrientes, denominadas de C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>. Nas plantas de ciclo C<sub>3</sub>, o composto precursor da fixação de CO<sub>2</sub> é uma molécula de três carbonos (3P-glicérico), apresentando a Rubisco como enzima responsável pela carboxilação. Nestes vegetais, esta enzima apresenta outra atividade além da carboxilase, que é a oxigenase. Na atividade oxigenase, a Rubisco reage com o O<sub>2</sub> produzindo duas moléculas de 3-fosfoglicerato e 2 de 2-fosfoglicolato, em vez de duas moléculas de

3-fosfoglicerado. Isso diminui a eficiência fotossintética, resultando em um processo denominado de fotorrespiração. A fotorrespiração pode se elevar principalmente em condições de temperatura elevada, em que a concentração de  $O_2$  é maior do que de  $CO_2$  dentro da célula (DINER; RAPPAPORT, 2002).

## **2.4 Intercepção luminosa**

A intercepção da DFFFA pelo dossel exerce grande influência sobre o rendimento das culturas, quando outros fatores ambientais são favoráveis (OTTMAN; WELCH, 1989).

Em várias culturas foi demonstrado que o acúmulo de matéria seca é linearmente relacionado com a quantidade de energia solar interceptada pela vegetação (MONTEITH 1972, 1977). Além disso, a eficiência na intercepção da luz seria o principal fator responsável pelas diferenças de produção em diferentes condições climáticas ou mesmo dentro de um estande (SINCLAIR & MUCHOW 1999). A quantidade de energia solar interceptada por uma cultura depende, contudo, tanto da energia solar incidente como das características do dossel. Assim, os modelos de intercepção da luz ou de transferência da radiação, são formulações matemáticas que combinam as características da vegetação com a forma de atenuação da radiação através do dossel. Sua aplicação é essencial para a compreensão e simulação do crescimento e da produção das culturas.

Em linhas gerais, a intercepção pode ser entendida como um processo físico no qual a DFFFA atinge uma superfície qualquer. Para que a irradiância seja interceptada por folhas no interior do dossel, a irradiância que chega acima do dossel vegetativo tem limitações para provocar reações fotossintéticas nas folhas inferiores. A luz difusa poderia, talvez, ser utilizadas pelas folhas que não interceptam diretamente a luz.

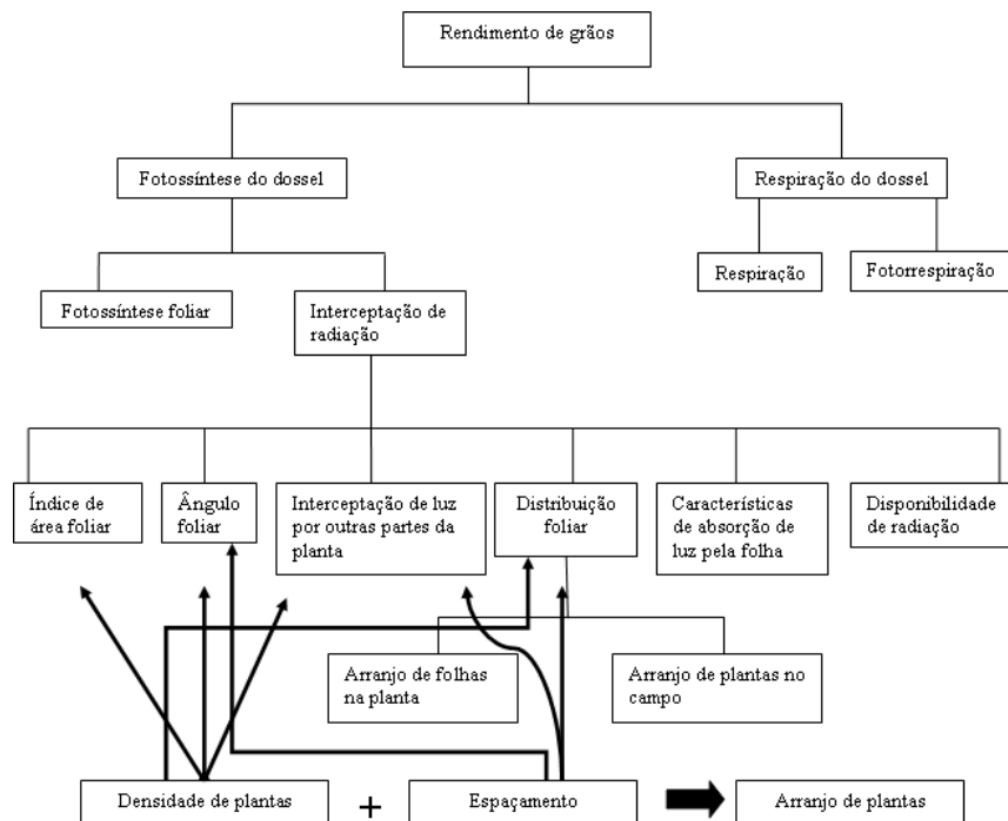
O termo “arquitetura de copa” é definido por Ross (1981) como sendo o conjunto de características que determinam a forma, o tamanho, a geometria e a estrutura externa da planta. A descrição completa e detalhada da arquitetura da vegetação é complexa, onerosa, e requer elevado tempo. Assim, o que geralmente se usa nos modelos de transferência da irradiância (uso da luz difusa pelas folhas) são características simplificadas da arquitetura. Assume-se, que o dossel é composto apenas por folhas, e as demais partes estruturais são negligenciadas.

Essa premissa é válida na maioria dos casos, visto que os principais elementos que causam o sombreamento e o espalhamento da radiação em um dossel são as folhas.

Com relação ao tipo de irradiância, a simulação da interceptação da luz difusa é mais complexa se comparada à irradiância direta, embora ambas sejam atenuadas/extintas/usadas da mesma maneira. Isso porque enquanto a luz solar direta segue uma única direção, caracterizada pelos ângulos zenital e azimutal ( $\theta$ ,  $\phi$ ), a luz difusa é emitida em todas as direções.

A área foliar de uma cultura é conhecida como sendo um parâmetro indicativo de produtividade, pois o processo fotossintético depende da interceptação da energia luminosa e a sua conversão em energia química (FAVANIN et al., 2002). Desta forma, a superfície foliar de uma planta é a base do rendimento de uma cultura (PEREIRA et al., 1997). O conhecimento deste parâmetro permite a estimativa da perda de água, já que as folhas são os principais órgãos participantes no processo da transpiração, sendo também responsáveis pelas trocas gasosas com o ambiente.

Para obtenção de altos rendimentos, deve-se maximizar a duração da interceptação da irradiância, utilizar eficientemente a energia interceptada (fotossíntese), distribuir os novos fotoassimilados na proporção ótima para formação de folhas, caules, raízes e de estruturas reprodutivas, e manter estes processos com custo mínimo para a planta (LOOMIS; AMTHOR, 1999). Tais processos são complexos, tornando muito difícil a maximização simultânea do uso destes fatores. Portanto, a escolha do arranjo de plantas adequado é uma das práticas de manejo importante para otimizar o rendimento das culturas, pois afeta diretamente a interceptação de luz solar, que é um dos principais fatores determinantes da produtividade (SINCLAIR, 1993; EVANS, 1993; LOOMIS; AMTHOR, 1999), como pode ser observado na Figura 1:



**Figura 1.** Fluxograma dos fatores que afetam o rendimento de grãos das culturas. (GARDER et al, 1958)

## 2.5 – Sistema Hidropônico

A hidroponia, termos derivados de dois radicais gregos (*hydor*, que significa água e *ponos*, que significa trabalho), está se desenvolvendo rapidamente como meio de produção vegetal, sobretudo de hortaliças sob cultivo protegido. A hidroponia é uma técnica alternativa de cultivo protegido, na qual o solo é substituído por uma solução com nutrientes indispensáveis aos vegetais. (GRAVES, 1983; JENSEN e COLLINS, 1985; RESH, 1996, FURLANli et. al., 1999).

O cultivo hidropônico é uma atividade que deve ser praticada em ambiente protegido, denominado estufa ou casa de vegetação, para que se possa ter maior controle sobre o desenvolvimento das plantas, e também, da solução nutritiva (TEIXEIRA, 1996).

Este sistema possui diversas vantagens como: possibilidade de aproveitamento de áreas inaptas ao cultivo convencional, tais como zonas áridas e

solos degradados (Teixeira, 1996); independência do cultivo às intempéries tais como veranico, geadas, chuvas de granizo, ventos, alagamentos, e às estações climáticas, permitindo o cultivo durante todo o ano (FAQUIN et al., 1996); redução do uso de mão-de-obra nas atividades “braçais” tais como, capina e preparo de solo, além do fato de que a hidroponia exige atividades mais suaves (CASTELLANE & ARAÚJO, 1994). Também, a colheita pode ser antecipada dado o encurtamento do ciclo da planta (FAQUIN et al., 1996); há rápido retorno econômico (FAQUIN et al., 1996) dispensa-se a rotação de culturas (TEIXEIRA, 1996) e ocorre economia de água (CASTELLANE & ARAÚJO, 1994).

## **2.6 – Técnica de fluxo laminar de nutrientes (NFT)**

Esta técnica desenvolvida por Allen Cooper em 1965 e originalmente denominada “Nutrient Film Technique” (NFT) consiste na passagem de uma lâmina de solução nutritiva por uma canaleta contendo as plantas (CASTELLANE & ARAÚJO, 1994; FURLANI, 1995; JONES JÚNIOR, 1983). Os sistemas de produção hidropônica comercial sem substratos sólidos, em sua maioria, usam atualmente a técnica NFT.

Para utilização da técnica são necessárias bancadas de cultivo, formadas por canais nos quais passa a solução nutritiva na forma de uma lâmina, onde são colocadas as plantas. Segundo Furlani et al (1999), as dimensões das bancadas normalmente obedecem a certos padrões, que podem variar de acordo com a espécie e com o tipo de canal utilizado.

Hoje o sistema NFT é o mais utilizado comercialmente. Dentre suas vantagens, estão: redução de custos em relação aos sistemas que utilizam substratos; maior rapidez e custo de implantação; e possibilidades de ajuste para a cultura. Permite o acompanhamento do crescimento do sistema radicular e a injeção de substâncias reguladoras de crescimento, bem como a aplicação de inseticidas e fungicidas via solução nutritiva (SANCHEZ, 2007).

A praticidade no manejo, limpeza, higiene e versatilidade desta modalidade de cultivo conferem ótimas condições para ocorrer uma diminuição na utilização de produtos químicos usados no controle das principais doenças que afetam as hortaliças, principalmente as folhosas. Também ocorre aumento do rendimento da mão-de-obra na operação de colheita (PAIVA, 1998).

As instalações de um sistema NFT para cultivo de hortaliças folhosas são compostas basicamente por uma casa de vegetação, contendo bancada para produção de mudas e de cultivo, canais de cultivo apoiados na bancada, reservatório para solução nutritiva, conjunto motobomba, temporizador, encanamentos e registros para distribuição e retorno de solução nutritiva (FURLANI, 1998)

### **3- Material e Métodos**

A partir de levantamento na literatura específica, foi realizada uma busca por técnicas ou produtos que visam melhorar o processo de interceptação de luz e posterior eficiência de uso da luz e/ou conversão energética. A partir deste levantamento, comparou-se cada técnica descrita na literatura e verificou-se o princípio de cada uma de acordo com as bases do processo da fotossíntese e ecofisiologia de plantas.

Com isso, discutiu-se a respeito das melhores tecnologias em relação à custos, eficiência e facilidade ao produtor, por fim, elegendo uma técnica que considerou-se mais eficiente que as demais.

Por fim, foi proposto um modelo teórico, que permite potencializar ainda mais o processo de interceptação de luz e eficiência de conversão energética da luz. Esta proposição tenta agregar o conhecimento de fotossíntese, interceptação e eficiência de conversão de luz.

## **4 – Resultados e Discussões**

Atualmente, devido à grande competitividade mundial dos produtos hortícolas, decorrente principalmente do excesso de produção, tem-se procurado classificar as mercadorias dentro de padrões. Para atender o novo mercado faz-se necessária a introdução de novas tecnologias e formas de manejo nos sistemas de produção das hortaliças (LUENGO; JUNQUEIRA, 1999).

Logo, a partir de um levantamento da literatura, ressaltam-se três diferentes técnicas que visem a aumentar a eficiência de interceptação de luz: malhas termo-refletores, suplementação luminosa e suplementação de CO<sub>2</sub>.

### **4.1 – Técnicas:**

#### **4.1.1 - Malhas termo-refletores**

A alface é uma planta que se adapta às condições de menor fluxo de energia radiante, pelo fato da intensidade de luz afetar diretamente o crescimento e desenvolvimento das plantas. Quando se conduz uma cultura dentro de uma variação ótima de luminosidade com outros fatores favoráveis, a fotossíntese é elevada, a respiração é normal e a quantidade de matéria seca acumulada é alta. (NETO et al, 2005).

Sendo a luz determinante no processo fotossintético, essa poderá ser prejudicial se for em excesso. A luminosidade exagerada pode provocar não só aumento da transpiração como redução comprometedora no conteúdo de água das folhas, causando a chamada “solarização” que frequentemente ocasiona a desidratação e a morte de células (RYDER, 1999). Além de impedir que a cultura expresse o seu potencial genético ao máximo, essa desidratação ou solarização também afeta o desenvolvimento das folhas, tornando-as mais fibrosas, reduzindo seu ciclo e afetando intimamente sua produção, devido à antecipação da sua fase reprodutiva. (MAKISHIMA, 1992; SETUBAL & SILVA, 1992).

Existem no mercado diversos tipos de malhas para reduzir os efeitos adversos da temperatura e da radiação excessiva sobre as plantas. Essas malhas podem ser utilizadas tanto a céu aberto quanto em casa de vegetação, sob ou sobre o plástico, beneficiando os processos fisiológicos das plantas pelo fato de diminuir a temperatura do ar e, conseqüentemente, reduzir a transpiração e a respiração, atenuando o fechamento estomático, o que pode proporcionar maior fixação de

carbono e, assim, aumentar a produtividade. (POLYSACK, 2013). Tais malhas podem ser diferenciadas em dois principais tipos: sombreadoras e termo-refletivas.

Ambas tem sido utilizadas isoladamente, ou em associação com os ambientes protegidos, produzindo, assim, uma condição microclimática, apropriada para o desenvolvimento das culturas, reduzindo, principalmente, os efeitos nocivos da alta taxa de incidência da radiação solar e protegendo contra os extremos de temperatura.

Malhas termo-refletivas, além de promoverem sombreamento, possuem características que as diferenciam das demais (COSTA, 2004). Os fios dessas malhas são retorcidos e metalizados em alumínio em ambas as faces, permitindo reflexão de parte da energia solar. Também propicia proteção contra geadas, promove difusão da luz e aumenta a eficiência da fotossíntese.

Essas telas reduzem a incidência direta dos raios solares, favoráveis às espécies que necessitam de menor fluxo de energia radiante. Essa menor incidência de energia solar pode contribuir para diminuir os efeitos extremos da radiação, principalmente a fotorrespiração, e proporcionar melhores condições ambientais aumentando a produtividade e qualidade das folhas para consumo (MACIEL et al., 2007).

O uso de telas de sombreamento visando atenuar temperatura e irradiância pode apresentar o inconveniente de reduzir a luz demasiadamente, promovendo prolongamento do ciclo, estiolamento das plantas e redução da produtividade. Por outro lado, o uso das telas termo-refletoras e difusoras pode contornar esse problema, em razão da sua composição proporcionar mais luz difusa ao ambiente, promovendo redução da temperatura, todavia não afetando significativamente os processos relacionados à fotossíntese (POLYSACKK, 2009).

Várias pesquisas com essas telas mostram ganhos de produtividade. Oliveira et al. (2009) relatam que usando tela termo-refletora houve um incremento de fotossíntese que propiciou cerca de 26% a 40% de precocidade na formação de mudas citrícolas. Se for adequadamente manejado, a tela termo-refletora pode obter ganhos de mais de 40% de precocidade segundo o fabricante.

Seabra et al. (2009) verificaram um aumento de produção de cerca de 20 % ao utilizar tela termo-refletora (50%), quando comparado a tela de sombreamento de mesma porcentagem, e 16 %, quando comparado com o Sombrite (40 %).

Também existe no mercado a malha CromatiNet Difusor®, um tipo de tela difusora que pode alterar o espectro de luz solar. Estas malhas são produzidas com aditivos especiais que as convertem em singulares filtros de luz, fazendo com que a qualidade de luz que chega ao cultivo seja maior, pois as mesmas são capazes de alterar a luz direta convertendo-a em luz difusa, o que beneficia a planta (POLYSACK, 2013)

Quer sejam usados sombrites, malhas termorrefletoras e difusora, ou outro tipo de cobertura, sempre ocorrerão alterações microclimáticas no ambiente (SENTELHAS *et al.*, 1998), as quais, por interferirem nos processos fisiológicos como a fotossíntese, respiração e transpiração, interferirão também no processo de absorção de nutrientes (MARCHEER, 1995).

#### **4.1.2 - Suplementação luminosa com LED**

*Interlighting* é a técnica que consiste em fornecer a iluminação suplementar no interior do dossel da cultura, especialmente aquelas tutoradas que apresentam diferenças na radiação solar ao longo do perfil vertical das plantas. Com isso, ocorre melhor distribuição de luz no interior do dossel, o que aumenta a eficiência fotossintética das plantas e conseqüentemente, melhora o seu rendimento produtivo (GOMEZ *et al.*, 2013).

A iluminação artificial representa cerca de 20% da energia elétrica consumida mundialmente em todas as aplicações (SEIDEL, 2003). Uma das aplicações onde se recorre à iluminação artificial com alto consumo de energia elétrica é a produção agrícola, mas especificamente o ramo da horticultura.

A utilização de lâmpadas elétricas teve início há cerca de 150 anos (WHEELER, 2008). Inicialmente foram desenvolvidas as lâmpadas incandescentes de arco aberto e posteriormente as lâmpadas de descarga de gases, que atualmente ainda são os mais populares para iluminação suplementar na horticultura. Lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, conhecida como HPS, possuem alta eficiência elétrica, como vida longa de operação e um amplo espectro luminoso, a qual é adequada para muitas espécies vegetais (WHEELER, 2008). Estas lâmpadas emitem luz visível (400-700 nm) e não visível (700-850 nm), mas o pico de emissão está na região da luz amarela (~ 589 nm), faixa do espectro que provoca estiolamento das

plantas, característica indesejada para a maioria das espécies vegetais (WHEELER; MACKOWIAK; SAGER, 1991; GLOWACKA, 2002).

O diodo emissor de luz, mais conhecido como LED (Light Emitting Diode), representa uma tecnologia diferente das lâmpadas de descarga gasosa. Essa fonte de luz apresenta muitas vantagens em relação às demais tecnologias de iluminação existente. Apresentam dispositivos eletrônicos de alta eficiência radiante, vida longa, baixa emissão de calor, emissão específica de espectros luminosos, curto tempo de comutação e não contêm mercúrio na sua composição (MASSA et al, 2008; MORROW, 2008).

Uma das principais vantagens das lâmpadas de LED é a possibilidade de controlar o produto espectral do sistema de iluminação. As lâmpadas de LED já estão disponíveis em toda a faixa espectral e pode ser personalizada para cada cultura específica, otimizando a luz para máxima produção vegetal sem desperdício de energia em improdutivos comprimentos de onda (TAMULAITIS et al, 2005).

O LED é um dispositivo semicondutor composto basicamente de silício, que produz uma luz de estreito espectro quando energizado. (BOURGET, 2008). É um componente eletrônico, muito mais semelhante a um microchip de computador do que uma lâmpada e possui diferentes tamanhos e potências quando energizado. A cor da luz emitida varia de acordo com o componente. Foi inventado pelo russo Oleg Vladimirovich Losev em 1920, mas o primeiro LED a emitir ondas no comprimento da faixa do visível foi feito no início dos anos de 1960 (ZHELUDEV, 2007). Inicialmente o LED tinha luz na cor vermelha e baixa intensidade, mas com o passar dos anos e acompanhado à avanços tecnológicos, encontra-se em diversas cores e potencias.

As lâmpadas de LED emitem baixa irradiação térmica, baixa tensão de operação e robustez física, o que as tornam adequadas para serem utilizadas como suplementação luminosa em vegetais, podendo ser posicionadas próximas às plantas (MASSA et al 2008, MORROW, 2008).

Segundo Long et al. (1994), sob baixa intensidade luminosa (menor que  $100 \mu\text{mol. m}^{-2}\text{S}^{-1}$ ), mais de 80% do quantum absorvido é usado na fotossíntese. Quando a intensidade luminosa aproxima-se de  $1000 \mu\text{mol. m}^{-2}\text{S}^{-1}$  (cerca de metade do valor da luz solar), menos de 25% do quantum absorvido é usado e, sob luz solar plena, a utilização reduz para aproximadamente 10%.

A absorção porcentual de luz azul e vermelha pelas folhas das plantas é de aproximadamente 90%, demonstrando forte influência desses dois espectros luminosos sobre o desenvolvimento e a fisiologia da planta (TERASHIMA et al, 2009). A combinação entre as duas cores é cada vez mais utilizada por serem os espectros mais eficazes para o processo fotossintético, sendo que a ausência de uma das duas bandas resulta em ineficiência da fotossíntese (HOGEWONING et al, 2010).

Inicialmente, os experimentos utilizavam apenas lâmpadas de LED vermelhas, com comprimento de onda entre 600 a 750nm por serem facilmente absorvido pelos pigmentos da planta. Posteriormente, estudos com a luz LED azul (400 a 500 nm) demonstraram que esta afeta as relações hídricas e a troca de CO<sub>2</sub>, além do fototropismo (BLAAUW e BLAAUW-JENSEN, 1970).

Em comparação com o uso das duas diferentes cores, Yanagi et al (1996) mostrou que cultura de alface, quando submetida apenas à LED vermelha apresentou maior número de folhas do que quando cultivadas apenas sob LED azul, ressaltando a importância de se utilizar os dois espectros em conjunto, variando as proporções de acordo com o ambiente e a cultura.

Logo após, buscando encontrar a real eficiência do uso de LEDs, foi realizado um experimento em Quebec, Canadá para produção de alface durante o inverno, onde se constatou que 12-13 mol.m<sup>-2</sup>.d<sup>-1</sup> ou ainda mais são necessários para produção de alface, alcançando assim, um ciclo em torno de 20 dias até a colheita por meio da suplementação luminosa. Ao se utilizar 50-100 μmol. m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> em um fotoperíodo de 16h no inverno, observou-se um aumento de 1,4 a 2.7 na produção de biomassa em comparação com o cultivo sob luz natural, além da diminuição do tempo da cultura em 25%. (CHARBONNEAU, 1994).

Também é de extrema importância ressaltar o LED verde. Kim et al (2004) realizou experimentos com alface, submetendo as plantas inicialmente a 5% de luz verde sob um total de 136 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Neste cenário, não houve alterações significativas nas plantas, porém, quando se utilizou o conjunto de cores RGB (Red Blue Green), sendo 24% de luz verde, obtiveram resultados com aumento do peso seco e da área foliar da alface, se comparado à ausência da luz verde ou ao uso de luz branca.

A eficiência do LED está projetada para aumentar consideravelmente durante a próxima década, tanto como eficiência elétrica, como eficácia no fluxo de fótons

(PINHO;JOKINEN; HALONEN, 2012). Essa evolução tornará o uso do LED no cultivo de plantas mais eficiente e viável economicamente. Por apresentar a maior parte de massa seca na forma de folhas, espera-se que as hortaliças folhosas, cultivadas com métodos de incrementos de luz artificial, se desenvolvam melhor do que aquelas cultivadas em condições com luminosidade natural. (MARTINS et al, 2015)

#### **4.1.3 – Suplementação de CO<sub>2</sub>**

O CO<sub>2</sub> é fundamental na mais importante reação da natureza, a fotossíntese, a qual capacita às plantas terrestres consumirem aproximadamente 15 bilhões de t de CO<sub>2</sub> por ano.

O fornecimento de CO<sub>2</sub> tem propiciado, em pesquisas e produções comerciais, significativos aumentos de produtividade, precocidade e qualidade. Sob maior concentração de CO<sub>2</sub>, a cultura da alface tem mostrado aumentos de até 30% na produção Resh (1997). Quando comparada com o ar natural (em torno de 350 µL/L de CO<sub>2</sub>), a concentração de 1000 µL/L eleva a eficiência fotossintética de 0,041 para 0,055 mol CO<sub>2</sub> fótons (CAPORN et al., 1994), o que representa um aumento de 34% de produtividade.

O aumento da concentração de CO<sub>2</sub> induz o fechamento parcial dos estômatos, causando, como consequência, redução na transpiração (FAQUHAR et al., 1978; KIMBALL, 1983; KIMBALL & IDSO, 1983; MORISON, 1985; CURE & ACOCK, 1986). Nesta situação há aumento da taxa de crescimento, com produção de maior quantidade de matéria vegetativa e aumento da área foliar (MORISON & GIFFORD, 1984).

O uso do enriquecimento atmosférico se iniciou no Norte Europeu por volta de 1886, e em 1888 a técnica foi reconhecida e utilizada na Alemanha. Poucos anos mais tarde, na Inglaterra e em 1909 nos Estados Unidos as produções de alimentos e flores já se beneficiavam desta técnica (WITTEWER, 1986).

Os benefícios evidenciados do enriquecimento com CO<sub>2</sub> levam a afirmações gerais, ou seja, considerando-se a maioria das espécies cultivadas, que duplicando o nível de CO<sub>2</sub> atmosférico resulta-se em aumento da fotossíntese de 40 a 45% e aumento de 40% na produtividade. Portanto, a atual concentração do gás

na atmosfera pode ser considerada um fator limitante à produção com as tecnologias disponíveis para o uso em cultivo protegido (WITTWER, 1986).

Segundo Moe & Mortensen (1986) a concentração ótima para o crescimento da maioria das culturas parece ser aproximadamente 1.000  $\mu\text{L/L}$ , no interior de casas de vegetação. Para plantas jovens ou períodos de curto enriquecimento pode ser benéfica a utilização de 1.500  $\mu\text{L/L}$ . Estes autores ainda demonstraram que a alta concentração do gás (acima de 2.000 $\mu\text{L/L}$ ) pode causar danos para algumas culturas, particularmente para aquelas que se desenvolvem sob alta radiação solar, e sobre este aspecto os autores citam ocorrência de necrose em folhas de crisântemo e pepino. (JUNIOR, 2000)

Nas condições tropicais a alta irradiância colabora para o rápido aquecimento do ar. Da irradiância interceptada pela superfície de uma casa de vegetação, 85% penetram para seu interior (GAUDREAU et al., 1994). Com o aumento da temperatura as plantas protegem-se da alta evapotranspiração, fechando estômatos, o que limita o aproveitamento de  $\text{CO}_2$  aplicado artificialmente. Esta é uma importante observação considerando-se que, em ambientes protegidos sem sistemas de resfriamento eficientes, os valores de temperatura internos são sempre maiores do que os externos durante o dia (FARIA JUNIOR, 1983; HERTER & REISSER JUNIOR, 1987 e REIS E HORINO 1988), o que normalmente ocorre nos cultivos nos trópicos.

Guri et al. (1999) aplicaram  $\text{CO}_2$  via água de irrigação na cultura do pimentão e verificaram aumento na área foliar das plantas, associado ao aumento de fotoassimilados, resultando em maiores números de frutos e acréscimo de 10% na produtividade, provavelmente devido ao efeito do  $\text{CO}_2$  sobre a fotossíntese da cultura.

É de suma importância ressaltar que o uso desta técnica promove aumento da interceptação luminosa de maneira indireta, quando o aumento da concentração do dióxido de carbono causa redução na transpiração e com isso, aumento na taxa de crescimento, e o aumento da área foliar induz à maior captação luminosa. Logo, essa técnica diz respeito à um aumento indireto da eficiência de uso da luz. Uso (e não interceptação) porque o  $\text{CO}_2$  aumentado seria de fato usado (no ciclo de Calvin) com menor uso da luz.

## 4.2– Análises de cada técnica

Dentre as três técnicas apresentadas no trabalho, todas se embasaram nos princípios da fisiologia vegetal.

As telas-termo-refletivas vêm ganhando um grande espaço no mercado devido à sua tecnologia que as diferencia das demais telas de sombreamento presentes no mercado. O uso de malhas com fios retorcidos e metalizados em alumínio em ambas as faces, promove maior reflexão da luz que incide sobre ela e com isso, os raios que são absorvidos chegam até as plantas de maneira difusa, outra grande vantagem para a diminuição da temperatura e eficiência de captação luminosa para planta.

Sabendo-se que a alface é uma planta que necessita de pouca radiação luminosa para se desenvolver e uma temperatura amena, a dissipação dos raios que chegam sobre a planta de maneira difusa faz com que haja distribuição da luminosidade, não atingindo apenas o dossel como no caso da luz direta.

O Alumínio presente no material da malha parece ser o grande diferencial. Por apresentar características reflexivas, auxilia na maior reflexão da luz solar que incide sobre o material, diminui a absorção dos raios que penetram e se dissipam na forma de luz difusa e também, auxilia no controle da temperatura.

Já as lâmpadas de LED se resumem a três finalidades citadas anteriormente, sendo elas: fotossintética, fotomorfológicas e fotoperiódicas. Durante o processo fotossintético da planta, sabe-se que a clorofila tem maior absorção nos espectros de luz azul, mais energético e no espectro da luz vermelha, comprimento menos energético.

Sabendo-se ainda que quando a planta recebe luz branca, proveniente dos raios solares, apenas absorve os dois espectros citados anteriormente, desencadeou um novo processo de suplementação luminosa visando além da otimização da fotossíntese ao expor as plantas à placas que emitem luz nos espectros específicos para fotossíntese mas também otimizando a interceptação da luz, uma vez que em culturas tutoradas como no caso do tomate, os raios solares que interceptam o dossel são baixos e com a disposição das placas entre os espaçamento das culturas, há um grande aumento da produtividade e taxa fotossintética em maior parte das folhas da planta.

Com relação a suplementação de CO<sub>2</sub> em casas de vegetação, apesar de atuar na eficiência da interceptação luminosa de maneira indireta, é um método crescente na agricultura atual e devido a isso, acreditamos na importância de citá-lo.

#### **4.3 – Modelo de Banca Hidropônica em Movimento**

Visando obter um aumento fotossintético e aumento de produtividade, o seguinte projeto sugere uma adaptação ao modelo atual de produção hidropônica NFT.

Em cultivos hidropônicos que utilizam sistemas NFT tradicionais, os tubos de produção estão dispostos de maneira linear nas bancadas de produção, alocados lado a lado, separados por determinada distância que, juntamente com a distância dos furos no mesmo tubo, caracteriza o espaçamento entre plantas. Geralmente as bancadas de produção apresentam largura de 160 cm a 180 cm, possibilitando o plantio, manejo e colheita da produção, majoritariamente manual quando se trata desse sistema.

Nesse sistema de bancadas lineares, as plantas recebem os raios luminosos de maneira direta ou difusa, dependendo da estrutura da unidade de produção. Contudo, no decorrer do ciclo e consequente aumento do tamanho das plantas, ocorre a cobertura total da bancada de produção, ou seja, as bordas das plantas se tocam formando um dossel sobre a bancada de produção. Dessa maneira a radiação é interceptada somente na parte superior das plantas, fazendo com que as folhas mais velhas, dispostas lateralmente no caule, não recebam radiação suficiente, ficando fracas, suscetíveis ao ataque de doenças e pragas, e até morrendo.

Essa característica da bancada convencional é muito prejudicial para o sistema de produção pois as folhas mais velhas atacadas podem servir como meio de sobrevivência para agentes fitopatogênicos e pragas agrícolas.

Dessa maneira o trabalho propõe uma nova disposição de tubos de produção para o sistema NFT, sendo esses alocados sob uma estrutura circular e rotativa, que gira em torno de um eixo central inclinado.

A bancada proposta possibilitaria a interceptação da luz tanto pela parte superior da planta como pela parte lateral, sem a necessidade do uso de iluminação artificial. Além disso, a disposição circular possibilitaria a produção de um número de

plantas muito maior em um mesmo espaço, quando comparado com o sistema de bancadas lineares.

Esse sistema, teoricamente, aumentaria a produtividade do sistema de produção devido ao aumento da população de plantas por bancada e também pelo maior aproveitamento da luz ao longo do dia. As plantas, teoricamente, poderiam se utilizar de forma, talvez, balanceada de luz direta e difusa. A maior iluminação das folhas mais velhas (ao longo do dia) também promoveria, talvez, aumento da qualidade comercial do produto.

## 5- Conclusão

O trabalho buscou levantar algumas técnicas presentes no mercado que visassem aumento da interceptação luminosa ou aumento da eficiência do uso da luz.

Sabendo que, o aumento da produtividade é o principal fator que move a tecnologia agrícola, diversos produtos são lançados no mercado com diversas promessas e voltado à vendas, podendo atropelar conceitos teóricos de fisiologia vegetal e não oferecerem de fato o que se propõem.

Levando em conta o crescimento do cultivo de hortaliças hidropônicas no país e um mercado ascendente buscando atender as condições brasileiras como na construção de estruturas e variedades específicas, o presente trabalho analisou as técnicas disponíveis com isenção de interesses e sempre sob o ponto de vista de eficiência de interceptação e/ou uso da luz.

No geral, as três técnicas apresentam embasamento fisiológico, atuando de diferentes maneiras. Todas, de forma geral, preconizam diminuir a temperatura no ambiente, atenuar a irradiância excessiva, aumentar a área foliar (para maximizar a interceptação de luz), suplementar luz para as atividades fotossintéticas com diferentes espectros de luz e até aumentar a biomassa.

Com relação à proposição do modelo hidropônico em movimento, acreditamos ser uma ideia promissora. Se de fato as plantas não apresentarem nenhum estresse causado pelo movimento, e se houver o aumento da interceptação de luz nas plantas, captada em diferentes ângulos e não apenas no dossel, será uma tecnologia inovadora e com grandes chances de sucesso devido ao aumento de produtividade.

## 6- Referências Bibliográficas

AGRINUAL 2008 - **Anuário da Agricultura Brasileira: alface**. São Paulo: FNP, 2008. p. 345.

BARBER, J. & ANDERSSON, B. 1992. **Too much of a good thing: light can be bad for photosynthesis**. TIBS, 17: 61-66.

BEZERRA, Fred Carvalho. **Produção de mudas de hortaliças em ambiente protegido**. Fortaleza - CE:Embrapa Agroindústria Tropical, 2003. 22 p. (Embrapa Agroindústria Tropical. Documentos, 72).

BLANKENSHIP, R. E.; PRINCE, R. C. **Excited-state redox potentials and the Z scheme of photosynthesis**. Trends Biochemical Science. Riverport Lane, v. 10, n. 10, p. 382-383, 1985.

BLAAUW, O. and G. Blaauw-Jansen. **The phototropic responses of Avena coleoptiles**. 1970, Acta Botan. Neer. 19:755–763.

BLISKA JÚNIOR, A.; HONÓRIO, S.L. **Cartilha tecnológica: hidroponia**. Campinas: Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, 1996. 51p.

BOURGET, C.M. **An introduction to light-emitting diodes**. HortScience, v. 43, p. 1944-1946. 2008.

CASIMIRO, E.L.N.; SEVIGNANI, A. **Absorção de nutrientes por diferentes cultivares de alface em cultivo hidropônico no período de inverno**. Horticultura Brasileira, Brasília, supl. 2, 2002.

CASTELLANE, P.D.; ARAÚJO, J.A.C. **Cultivo sem solo: hidroponia**. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 1994. 43p.

CAPORN, S.J.; HAND, H.D.W.; MANSFIELDS, T.A.; WELLBURN, A.R. **Canopy photosynthesis of CO<sub>2</sub>-enriched lettuce (Lactuca sativa L.). Response to short-term changes in CO<sub>2</sub>, temperature and oxides of nitrogen**. New Phytologist. V. 126, p. 45-52, 1994.

CHARBONNEAU, J. GAUDREAU, L.; VEZINA, L.P.; GOSSELIN, A. **Photoperiod and photosynthetic photon flux influence growth and quality of greenhouse-grown lettuce**. HortScience, v. 29, p. 1285-1289. 1994.

COMETTI NN. 2003. **Nutrição mineral da alface (Lactuca sativa L.) em cultura hidropônica sistema NFT**. Seropédica: UFRRJ. 128p (Tese doutorado).

CURE, J.D., ACOCK, B. **Crop responses to carbon dioxide doubling: a literature survey**. Agricultural Forest and Meteorology, v.38, n.1/3, p.127-145, 1986.

DELISTOIANOV, F. **Produção, teores de nitrato e capacidade de rebrota de cultivares de alface, sob estufa, em hidroponia e solo, no verão e outono.** 1997. 76 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

DINER, B. A.; RAPPAPORT, F. **Structure, Dynamics, and energetic of the primary photochemistry of photosynthesis II of oxygenic photosynthesis.** Annual Review of Plant Biology. Palo Alto, v. 53, p. 551–580, 2002.

EVANS, J.R. **Partitioning of nitrogen between and within leaves grown under different irradiance.** Australian Journal of Plant Physiology. Collingwood, v. 16, n. 6, p. 533– 548, 1989.

FAQUIN, V.; FURLANI, P. R. **Cultivo de hortaliças de folhas em hidroponia em ambiente protegido.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 99-104, set./dez. 1999.

FAO. Índices de Produção. **Cultivos Primários.** <<http://www.fao.org>>. Acesso em 13/03/16.

FAQUHAR, G.D., DUBLE, D.R., RASCHKE, K. **Gain of the feedback loop involving carbon dioxide and stomata, theory and measurement.** Plant Physiology, v.62, n.3, p.406-412, 1978.

FARIAS JUNIOR, M.J. **Avaliação de culturas de alface (Lectuca sativa) e de dois modelos de casa de vegetação com cobertura plástica durante o verão em Ilha Solteira - SP.** Cultura Agrônômica, Ilha Solteira, v.2, n.1, p. 119-128, 1983.

FAVARIN, J.L., NETO, D.D., GARCIA, A.G., NOVA, N.A.V., FAVARIN, M.G.G.V. **Euações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro.** Pesq. agropec. bras., Brasília, v. 37, n. 6, p. 769-773, jun. 2002.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo Manual de Olericultura: Agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** Viçosa: Editora da UFV, 2000. 402 p.

FURLANI, P. R., SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIM, V. **Cultivo hidropônico de plantas.** Campinas: Instituto Agrônômico, 1999. 52p.

GARDNER, F.P.; PEARCE, R.B.; MITCHELL, R.L. **Physiology of crop plants.** Ames: Iowa State University, 1985. 327p.

GRAUDREAU, L.; CHARBONNEAU, J. VEZIMA, L.P.; GOSSELIN, A. **Photoperiod and photosynthect photon flux influence growth and quality of greenhouse-grown lettuce.** HortScience, v. 29, n.11, p. 1288-1289. 1994.

GLOWACKA, B. **Effect of light colour on the growth of tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) transplant.** Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus, Lublin, v. 1, p. 93-103, 2002).

GOMEZ.C.; MORROW, R.C.; BOURGET, C.M.; MASSA, G.D.; MITCHELL, C.A. **Comparison of intracanopy light-emitting diode towers and overhead high-pressure sodium lamps for supplemental lighting of greenhouse-grown tomatoes.** HortTechnology, Alexandria, v.23, p. 93-98, 2013.

GUTIERREZ, A.; FANALE, C. **Os números da alface na Ceagesp paulistana em 2012.** Folheto informativo do HORTIBRASIL (Instituto Brasileiro de Qualidade em Horticultura), 2013. Disponível em: <http://www.hortibrasil.org.br/jnw/index.php?> Acesso em 12 mar. 2016.

HOGEWONING, S.W.; TROUWBORST, G.; MALJAARS, H.; POORTER, H.; IEPEREN, W.; HARBINSON, J. **Blue light dose-responses of leaf photosynthesis, morphology, and chemical composition of *Curcumis sativus* grown under different combinations of red and blue light.** Journal of Experimental Botany. Oxford, v.61, p. 3107-3117, 2010.

JUNIOR, R.R.C. **Produção de alface (*Lactuca Sativa* L.) em cultivo hidropônico utilizando atmosfera modificada no interior de casa de vegetação.** - Tese de Mestrado - FEAGRI - Campinas, 2000.

KIMBALL, B.A. **Carbon dioxide and agricultural yield: an assemblage and analysis of 430 prior observation.** Agronomy Journal, v.75, n.5, p.779-788, 1983.

KIMBALL, B.A., IDSO, S.B. **Increase atmospheric CO<sub>2</sub>: effects on crop yield, water use, and climate.** Agricultural Water Management, v.7, n.1, p.55-73, 1983.

LAW, R.D. & CRAFTS-BRANDNER, S.J. 1999. **Inhibition and acclimation of photosynthesis to heat stress is closely correlated with activation of Ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase.** Plant Physiology, 120: 173-182.

LEMOS-FILHO, J.P. 2000. **Fotoinibição em três espécies do cerrado (*Annona crassifolia*, *Eugenia dysentericae* e *Campomanesia adamantium*) na estação seca e na chuvosa.** Revista Brasileira de Botânica, 23: 45-50

LONG, S.P., HUMPHRIES, S. & FALKOWSKI, P.G. 1994. **Photoinhibition of photosynthesis in nature.** Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology, 45: 633-662.

LOOMIS, R. S.; AMTHOR, J. S. **Yield potential, plant assimilatory capacity, and metabolic efficiencies.** Crop Science, Madison, v. 39, n. 6, p. 1584-1596, 1999.

LUENGO, R.F.A.; JUNQUEIRA, A. **Distribuição de hortaliças no Brasil.** Brasília: Embrapa Hortaliças, 1999. 7 p. (Circular Técnica, 16).

MACIEL, S.P.A.; ZANELLA, F.; LIMA, A.L.S. **Efeito do sombreamento sobre a produção de alface em hidroponia.** Revista Ciência & Consciência, Ji-Paraná, v.2, n.1, 2007. Disponível em: <http://www.revista.ulbrajp.edu.br/seer/inicia/ojs/viewarticle.php?id=1066> . Acesso em: 21/09/16.

MASSA, G.D.; KIM, H.H.; WHEELER, R.M; MITCHELL, C.A. **Plant productivity in response to LED lighting**. HortScience, Alexandria, v.43, p.1951-1956, 2008.

MARSCHNER H. 1995. **Mineral nutrition of higher plant**. 2.ed. New York: Academic Press. 889 p.

MAKISHIMA, N. **Cultivo de hortaliças**. Brasília: CNPH, 1992. 26 p.

MELIS A. **Solar energy conversion efficiencies in photosynthesis: Minimizing the chlorophyll antennae to maximize efficiency**. Plant Science, v. 177, p. 272-280, 2009.

MOE, R.; MORTENSEN, L.M. CO<sub>2</sub>. **Enrichment in Norway**. In: **Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops I**. Boca Raton: CRC Press, p. 59-76, 1986.

MONTEITH, J. L. **Climate and the efficiency of crop production in Britain**. Proceedings of the Royal Society of London, London, v. 281, p. 277-294, 1977.

MONTEITH, J.L. **Solar radiation and productivity in tropical ecosystems**. Journal of Applied Ecology, v.9, p. 747-766, 1972.

MORISON, J.I.L. **Sensitivity of stomata and water use efficiency to high CO<sub>2</sub>**. Plant, Cell and Environment, v.8, p.467-474, 1985.

MORISON, J.I.L., GIFFORD, R.M. **Plant growth and water use with limited water supply in high CO<sub>2</sub> concentrations. I. Leaf area, water use and transpiration**. Australian Journal of Plant Physiology, v.11, n.5, p.361-374, 1984.

Muchow, R.C., T.R. Sinclair, and J.M. Bennett. 1990. **Temperature and solar radiation effects on potential maize yields across locations**. Agron. J. 82:338–342.

MULLER, A.G. **Comportamento térmico do solo e do ar em alface em diferentes tipos de cobertura do solo**. 1991. 77f. Dissertação (mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1991.

NATHAN, N.; YOCUM, C. F. **Structure and function of photosystems I and II**. Annual Review of Plant Biology, Palo Alto, v. 57, p.521-565, 2006.

OLIVEIRA, J.R.; PAULO, M.W.; CORRÊA, R.M.; REIS, E.S.; CARVALHO, M.A.; REIS, M.M. **Cultivos agrícolas utilizando telas coloridas e termo-refletores**. In: I Jornada Científica e VI FIPA do CEFET Bambuí, 1, 2009, Bambuí.

OTTOMAN, M.J., WELCH, L.F. **Planting patterns and radiation interception, plant nutrient concentration, and yield in corn**. Agronomy Journal, Madison, v.81, n.2, p.167-174, 1989.

PAIVA, M.C. **Produção de hortaliças em ambiente protegido**. Cuiabá: SebraeMT, 1998.78p

PANDURO, A.M.R. **Análise do comportamento da alface, *Lactuca sativa* L., sob diferentes condições de iluminamento.** 1986. 129f. Dissertação (mestrado)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração.** Piracicaba: Fealq, 1997. 183 p.

PINHO, P. JOKINEN, K.; HALONEN, L. **Horticultural lightin present and future challenges. *Lighting Research and Tecnology***, London. v. 44, p. 427-437, 2012.

POLYSACK INDÚSTRIAS Ltda. **Malhas termorefletos aluminizadas.** Disponível em:  
<[http://www.polysack.com/index.php?page\\_id=744](http://www.polysack.com/index.php?page_id=744)> Acesso em: 20/09/16.

POWLES, S.B. & BJÖRKMAN, O. 1982. **Photoinhibition of photosynthesis: effect on chlorophyll fluorescence at 77 K in intact leaves and in chloroplast membranes of *Nerium oleander*.** *Planta*, 156: 97-107.

REISSER JÚNIOR, C.J. **Evapotranspiração da alface (*Lactuca sativa* L.) em casa-de-vegetação plástica e ambiente natural.** 1991. 78p. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 1991.

RESH, H.M.; **Hydroponic food production: a define guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower.** Santa Barbara: Woodbridge Press Publishing Company, p. 297-298, 1997.

REZENDE, A.C. **Controle da qualidade de hortaliças comercializadas nas centrais de abastecimento.** In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE QUALIDADE DE HORTALIÇAS E FRUTAS FRESCAS. Anais... Brasília: EMBRAPA - CNPH, 1991. p. 20 - 26.

ROSS, J. **The radiation regime and architecture of plant stands.** 2nd ed. The Hague: Dr W. junk Publishers. 1981. 388p.

RYDER, E.J. **Lettuce, endive and chicory.** New York: Cab International, 1999. 208 p.

SALA, F.; COSTA, C. **Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira.** *Hortic. Bras.* 30(2): 187-194, 2012.

SANCHES, C. A.; ALLEN, R. J.; SCHAFFER, B. **Growth and yield of crisphead lettuce under various shade conditions.** *Journal of the American Horticultural Science*, Stanford, v. 114, n. 6, p. 844-890, Nov. 1989.

SANCHEZ, S. V. **Avaliação de cultivares de alface crespa produzidas em hidroponia tipo NFT em dois ambientes protegidos em Ribeirão Preto (SP).** 2007. 63 f. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

SEABRA JR, S.; SOUZA, S.B.S.; THEODORO, V.C.A.; NUNES, M.C.M.; AMORIN, R.C.; SANTOS, C.L.; NEVES, L.G. **Produção de cultivares de alface sob diferentes telas de sombreamento**. Horticultura Brasileira, Águas de Lindóia, v.27, n.2, p.171-176, 2009.

SEIDEL, A. R.; Bisogno, F. E.; Pinheiro, H. **Reator eletrônico auto oscilante com controle de intensidade luminosa**. Sba Controle & Automação, v.14, n.2, p.78-81, 2003.

SENTELHAS PC; VILLA NOVA NA; ANGELOCCI LR 1998. **Efeito de diferentes tipos de cobertura, em mini-estufas, na atenuação da radiação solar e da luminosidade**. Revista Brasileira de Agrometeorologia 6: 479-481.

SETUBAL, W.J.; SILVA, A.R. **Avaliação do comportamento de alface de verão em condições de calor no município de Teresina-PI**. Teresina: UFPI, 1992. 17 p.

SINCLAIR, T.R.; BUXTON, D.R.; SHIBLES, R.; FORSBERG, R.A. **Crop yield potential and fairy tales**. In: **International crop science I**, 1993, Madison. Anais. Madison: Crop Science Society of America, 1993, p. 707-711.

SOARES, I. **Alface; cultivo hidropônico**. Fortaleza: Editora UFC. 2002. 50p.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. 2004. **Fisiologia Vegetal**. 3º ed. Porto Alegre: Artmed. 719p.

TAMULAITIS, G.; DUCHOVSKIS, P.; BLIZNIKAS, Z.; BREIVE, K.; ULINSKAITE, R.; BRAZAITYTE, A.; NOVICKOVAS, A.; ZUKAUSKAS, A. **Highpower light-emitting diode based facility for plant cultivation**. **Journal of Physics**. D: Applied Physics, London, v. 38, 9. 3182-3187, 2005.

TEIXEIRA, N. T. Hidroponia: **Uma Alternativa Para Pequenas Áreas**. Guaíba: Agropecuária, 1996. 86p.

TERASHIMA, I.; FUJITA, T.; INOUE, T.; CHOW, W.S.; OGUCHI, R. **Green light drives leaf photosynthesis more efficiently than red light in strong white light: revisiting the enigmatic question of why leaves are green**. **Plant and Cell Physiology**, Oxford, v.50, p. 684-697, 2009.

VALLADARES, F. & PEARCY, R.W. 1997. **Interactions between water stress, sun-shade acclimation, heat tolerance and photoinhibition in the sclerophyll *Heteromeles arbutifolia***. **Plant, Cell and Environment**, 20: 25-36.

VIDIGAL, S.M; RIBEIRO, A.C; CASALI, V.W.D; L.E.F. **Resposta da alface (*Lactuca sativa* L.) ao efeito residual da adubação orgânica**. **Ensaio de campo**. Revista Ceres, Viçosa, v.42, n. 239, p. 80-88, 1995.

WHEELER, R.M. **A historical background of plant lighting: an introduction to the workshop**. HortScience, Alexandria, v.43, p. 1942-1743, 2008.

WHEELER, R.M.; MACKOWIAK, C.L.; SARGER, J.C. **Soybean steam growth under high-pressure sodium with supplemental blue lighting.** Agronomy Journal. Madison, v. 83, p. 903-906, 1991.

WILHEM C., Selmar D. **Energy dissipation is an essential mechanism to sustain the viability of plants: The physiological limits of improved photosynthesis.** Journal of Plant Physiology, v. 168, p.79-87, 2011.

WISE, R.R., OLSON, A.J., SCHRADER, S.M. & SHARKEY, T.D. 2004. Electron transport is the functional limitation of photosynthesis in field-grown Pima cotton plants at high temperature. Plant, Cell and Environment, 27: 717-724.

WITTEW, S.H. **Worldwide status and history of CO<sub>2</sub> enrichment: An overview.** In: **Carbon dioxide enrichment of greenhouse crops**, I. Boca Raton: CRC Press, p. 3-16, 1986.

WIKISPECIES. **Classificação taxonômica da cultura de alface.** Disponível em: <<http://species.wikimedia.org/wiki/Lactuca>>. Acesso em: Jul. 2016.

ZHELUDEV, N. **The life and times of the LED - A 100-year history.** Nature Photonics. v.1, p.189-192, 2007.