

AÇÕES VARIÁVEIS EM ESTUFAS AGRÍCOLAS COM COBERTURA DE FILME PLÁSTICO

ANA CAROLINA GIGLI SHIGUEMOTO¹, JOSÉ GABRIEL VIEIRA NETO², JULIO SORIANO³

1 Doutoranda em Engenharia Agrícola, Depto. de Construções Rurais e Ambiente, FEAGRI/UNICAMP, Campinas/SP; Prof. Ms., Instituto Federal do Norte de Minas Gerais, Campus Araçuaí, (19) 98121-5759, ana.shiguemoto@ifnmg.edu.br.

2 Prof. Dr., Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete/RS.

3 Prof. Livre Docente, Depto. de Construções Rurais e Ambiente, FEAGRI/UNICAMP, Campinas/SP.

Apresentado no
L Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2021
08 a 10 de novembro de 2021 - Congresso On-line

RESUMO: As estufas agrícolas com cobertura de filme plástico são amplamente utilizadas para a produção de vegetais de qualidade e com altos índices de produtividade. Para o carregamento da estrutura, as ações permanentes e variáveis devem ser combinadas para todos os cenários possíveis. Neste estudo objetivou-se avaliar o panorama acerca das principais ações variáveis em estufas agrícolas com cobertura de filme plástico. Foram destacadas as ações de cultura vegetal e do vento, devido às suas importantes influências nos carregamentos, tendo apresentado como resultados uma grande variabilidade para os valores prescritos para a carga de cultura, bem como para a ação do vento a dependência de fatores como a expectativa de vida útil da estrutura da estufa. Foi concluído haver necessidade de complementação dos dados para ações de cultura e da geração de modelos precisos para o comportamento interativo do filme plástico com a estrutura diante a ação do vento.

PALAVRAS-CHAVE: ação do vento, carga de cultivo, segurança estrutural

VARIABLE ACTIONS IN PLASTIC-FILM COVERED GREENHOUSES

ABSTRACT: Plastic-film covered greenhouses are widely used for the production of plants with high quality and high productivity indexes. For structure loading, permanent and variable actions must be combined for all possible scenarios. This present study aimed to evaluate the main variable actions in agricultural plastic-film covered greenhouses. Due to the relevance for loading combination, crop and wind actions have been highlighted and the observed results present high variability concerning crop load values provided, as well as for wind action, depending on factors such as design working life of the greenhouse structure. It was concluded that there is a need to complement the data for crop loads and, also, the development of accurate models in order to simulate the behaviour of the interaction between structure and plastic-film under wind action.

KEYWORDS: wind action, crop load, structural safety

INTRODUÇÃO: O cultivo em construções denominadas estufas é uma técnica em expansão em todo o mundo e representa uma contribuição essencial para o aumento da eficiência na produção agrícola. Em um cenário de aumento da população mundial em que se busca melhor eficiência na produção, as estufas agrícolas proporcionam proteção frente às condições

ambientais adversas, bem como possibilitam um ambiente controlado e adaptado às necessidades da cultura (PONCE et al., 2015). A técnica vem se aprimorando (von ELSNER et al., 2000) com novos formatos e materiais de vedação e estruturais. As construções destinadas ao cultivo protegido de vegetais vem se expandindo no mundo e, no Brasil esta expansão ocorre de forma significativa desde a década de 90 (MARY et al., 2007). Considerando o cenário global, em termos de área, estima-se que na década de 80, a área ocupada por estufas agrícolas era de 100.000 ha e em 1998 esse número alcançou 450.000 ha, com crescimento anual em torno de 20%. Atualmente, a China é o país que possui a maior área de cultivo em estufas, ultrapassando a marca de 2 milhões de hectares. Estudos conduzidos na Europa, em uma área de 93.000 ha, apontam que 74% das estufas eram cobertas com plástico e 26% utilizavam vidro como material de cobertura. O vidro, no entanto, continua sendo o material de vedação mais utilizado em países com incidência de neve, tais como Holanda, Dinamarca, Bélgica e Alemanha (PONCE et al., 2015). Von ZABELTITZ (2011) ao mencionar o crescimento anual das áreas de estufas agrícolas, com sua maioria construída em área de clima ameno, enfatizou que o uso do filme plástico é preponderante e superior a 90%. Nos países tropicais, o uso do filme plástico na cobertura das estufas é intenso devido à acessibilidade, facilidade de uso e, também, pelo fato deste material conferir leveza para o sistema estrutural (BRIASSOULIS et al., 1997; McCARTNEY e LEFSRUD, 2018). Em 2012, o Controlled Environment Agriculture Center - CEAC - apresentou uma estimativa da área de estufas agrícolas com cobertura plástica por continente, sendo 192.000 ha na Ásia, 86.080 ha na Europa, 10.000 ha na América e 27.000 ha na África. Além do projeto de ambiência que assegurará a proteção às intempéries e o controle de pragas, o projeto estrutural é de fundamental importância para a eficiência da estufa e, portanto, deve ser elaborado para garantir a segurança, a funcionalidade e a durabilidade da construção. Com isto, devem ser combinadas as ações e os seus efeitos durante a vida útil da estufa (ABNT NBR 16032, 2012). Dentre as ações a serem consideradas, tem-se as permanentes (por exemplo, peso próprio e equipamentos fixos) e as variáveis, tais como o vento, manutenção e em alguns casos também as cargas de culturas suspensas ou cargas que de alguma forma são transmitidas à estrutura (von ZABELTITZ, 2011; PONCE et al., 2015). Comumente, essas construções são leves e de alta flexibilidade, tendo como causa predominante de acidentes os efeitos de ventos intensos (MARTINS, 2014). Deve-se considerar também que a estimativa incorreta das cargas suspensas pode ocasionar ruínas à estrutura. Este trabalho teve como objetivo avaliar o panorama acerca das ações do vento e de cultivo para os projetos de estufas agrícolas.

MATERIAL E MÉTODOS: Os métodos para a obtenção das cargas permanentes e acidentais a serem consideradas nos projetos estruturais das construções destinadas às várias funções podem, em grande parte, ter por base as informações apresentadas em normas de ações, como é o caso da ABNT NBR 6120 (2019). Já os efeitos do vento devem ter por base as informações apresentadas em norma específica (ABNT NBR 6123, 1998) que contém os aspectos gerais, como a velocidade básica em função da posição geográfica. Para o caso das estufas, além dessas normas correlatas às ações, também devem ser consideradas as normas específicas, tais como: EN 13031-1 (2019) e ABNT NBR 16032 (2012), no que se refira às informações acerca dos coeficientes de pressão para o vento, bem como às ações de culturas suspensas (Figura 1a) que de alguma forma possam solicitar os elementos estruturais. Em razão da complexidade de interpretação dos efeitos do vento e danos à construção (Figura 1b), pode ainda ser necessário o método de avaliação de modelos reduzidos em túnel de vento.



a) Cultura suspensa (von ZABELTITZ, 2011)



b) Danos devido ao vento (MARTINS, 2014)

FIGURA 1. Ações variáveis em estufas agrícolas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: O projeto de estufas agrícolas deve ser concebido de forma que nenhum estado limite seja superado. De acordo com a ABNT NBR 16032 (2012) e EN 13031-1 (2019), o estado limite a ser considerado depende da classificação de estufa em relação à tolerância dos deslocamentos da estrutura em função do tipo de cobertura. Estufas designadas como Classe A são aquelas cuja cobertura não permite o deslocamento da estrutura, como por exemplo vidro, e são projetadas considerando os estados limites de serviço e os estados limites últimos; já as designadas como Classe B possuem a cobertura que permite o deslocamento da estrutura, como por exemplo, filmes plásticos e demais materiais flexíveis, e são projetadas considerando-se somente os estados limites últimos. Tal classificação é importante na determinação do período mínimo de referência e probabilidade anual de excedência que devem ser considerados na determinação dos valores característicos das ações variáveis. Em termos de ações, o projeto estrutural de estufas agrícolas deve considerar todas as ações e influências que podem ocorrer durante a vida útil da estrutura. Desta forma, as ações atuantes, classificadas como permanentes, variáveis ou acidentais, devem ser combinadas, considerando seus valores característicos.

No âmbito das ações permanentes, o carregamento devido ao peso próprio dos elementos estruturais é preponderantemente influenciado pela escolha do material a constituir o sistema estrutural, tais como o aço, a madeira ou o bambu. Já o material de vedação tem a sua escolha influenciada pelas condições climáticas e econômicas, bem como pelo tipo de cultivo. Nos locais de clima temperado dada a ocorrência de neve é comum o emprego de cobertura com vidro, cujo uso tem sido defendido pela baixa manutenção requerida (von ZABELTITZ, 2011). Nas regiões de clima tropicais, a utilização da cobertura em filme plástico é predominantemente utilizada (BRIASSOULIS et al., 1997). A escolha do tipo de material para vedação é um fator que implica na tolerância dos deslocamentos da estrutura, além de influenciar nas cargas permanentes e no comportamento da estabilidade, dada as suas diferentes características mecânicas. Além disso, as ações devidas aos equipamentos instalados para condicionamento da ambiência térmica, bem como irrigação, também são consideradas como permanentes na estrutura da estufa agrícola (EN 13031-1, 2019).

As ações variáveis que são consideradas no projeto estrutural de estufas são: cargas devido à ação do vento, cargas devido à ação de culturas, ação devido às cargas verticais concentradas oriundas de operações de manutenção e reparos, ações incidentalmente presentes e ações térmicas, que podem ser desprezadas em estufas com cobertura plástica (Classe B), e cargas devido à ação da neve que, no caso de países tropicais como o Brasil, são praticamente desconsideradas. De natureza mais difícil de ser prevista, as tempestades de granizo podem causar danos catastróficos às estufas agrícolas, ocasionando o rasgamento do plástico ou a ruptura do vidro. BOTZEN et al. (2010) sugerem que esses danos podem ser evitados com o emprego de plásticos ou vidros mais resistentes.

As cargas incidentalmente presentes são aquelas devido à equipamentos móveis suportados pela estrutura, cujos dados a serem considerados no projeto devem ser fornecidos pelo fabricante do equipamento. Em relação às cargas verticais concentradas decorrentes das operações de manutenção e de reparos, a EN 13031-1 (2019) prescreve os valores mínimos dessas ações verticais concentradas a serem consideradas em função do tipo de elemento (Tabela 1), que devem atuar na área de 1 m^2 , ou para cada 1 m do comprimento dos elementos estruturais estreitos (com largura menor que 1 m). A ABNT NBR 6120 (2019) prescreve que todo elemento isolado de cobertura deve ser projetado para receber, na posição mais desfavorável, uma carga vertical de 1 kN, além da carga permanente e, no entanto, deve ser considerada forma isolada das demais ações variáveis. Também, de acordo com a ABNT NBR 6120 (2019), no caso de coberturas tensionadas e cobertas com material flexível, deve ser considerada uma carga variável uniformemente distribuída igual a $0,25 \text{ kN m}^{-2}$. A ABNT NBR 16032 (2012), quanto a essas ações acidentais a serem consideradas na elaboração do projeto de estufas agrícolas, faz referência à ABNT NBR 6120.

TABELA 1. Valores mínimos para ações verticais concentradas (kN).

Tipo de elemento	EN 13031-1 (2019)
Calha	1,5
Elementos da estrutura	1,0
Componentes secundários (barras de vedação ou barras da cumeeira)	0,35*

*Somente para estufas de classe A15. Para estufas de vão único, sem calha, este valor pode ser igual a 0.

Dentre todos os tipos de ações variáveis que devem ser consideradas no desenvolvimento do projeto estrutural, serão enfatizadas no presente trabalho as devidas à cultura e ao vento. As cargas devidas à ação de culturas a serem consideradas devem levar em conta o tipo de produto a ser cultivado. A ABNT NBR 6120 (2019) apresenta pesos específicos para diversos produtos agrícolas, que são importantes para os projetos de armazéns/silos, mas não aborda

cargas de culturas em estufas. Para as ações de cultura a ABNT NBR 16032 (2012) apresenta um valor único de $0,15 \text{ kN m}^{-2}$ e, por vez, valores distintos e mínimos para algumas culturas são definidos pela EN 13031-1 (2019). Em MARTINS (2014) são referenciados valores com base na versão anterior (de 2001) da norma europeia EN 13031-1, na qual também eram apresentados valores para cultivos em recipientes leves ou pesados (Tabela 2). McCARTNEY e LEFSRUD (2018) relatam para o cultivo de tomates a carga de aproximadamente $0,1$ a $0,14 \text{ kN m}^{-2}$. No entanto, na produtividade deste fruto cultivado em estufa com ventilação natural foram estimados valores superiores a $0,31 \text{ kN m}^{-2}$ (ÁVILA-JUÁREZ et al., 2012), podendo chegar a $0,55 \text{ kN m}^{-2}$ em estufas fechadas com controle de CO_2 (GELDER et al., 2005). Em NA et al. (2017) são descritas as cargas obtidas experimentalmente para culturas do tomate, pepino e berinjela, sendo: $0,083$; $0,020$ e $0,023 \text{ kN m}^{-2}$, respectivamente. Já para o morango, incluindo a cama, foi relatado o valor de $0,21 \text{ kN m}^{-2}$. Há, portanto, diferenças entre os valores apresentados na literatura que podem ser significativas para o projeto estrutural. A influência das ações das culturas, além da sua importante contribuição na composição do carregamento empregado no dimensionamento dos elementos da superestrutura, é também propagada como carga axial de compressão até a base (YUN et al., 2014), tornando-se, portanto, também essencial para o dimensionamento dos elementos de fundações da estufa agrícola.

TABELA 2. Ações características mínimas para culturas usuais (kN m^{-2}).

Tipo da cultura	EN 13031-1 (2019)	MARTINS (2014)
Morango	0,05	-
Tomates e pepinos	0,20*	0,15
Pimentões	0,12	-
Outros vegetais	0,15	-
Culturas em recipientes leves, como morangos	-	0,30
Culturas em recipientes pesados, como vasos de plantas	-	1,00

*Pode ser tomado igual a $0,15 \text{ kN m}^{-2}$ para construções classificadas como B5 (por exemplo túneis), em que o sistema de revestimento é tolerante aos deslocamentos da estrutura e a vida útil mínima é de 5 anos.

Para os efeitos da ação do vento, deve-se considerar a aleatoriedade das rajadas cujas velocidades básicas podem ser extraídas de isopleias elaboradas de registros meteorológicos, que para o extenso território brasileiro varia de 30 a 50 m s^{-1} (ABNT NBR 6123, 1988). A pressão dinâmica é resultante da velocidade característica do vento, para qual devem ser considerados os fatores determinados pela topografia local, rugosidade do terreno e dimensões da construção, bem como da probabilidade de ocorrência do vento, segurança e vida útil da construção. Este último é determinado por considerações estatística relacionadas à expectativa de vida útil da estufa, cuja equação logarítmica (ABNT NBR 6123, 1988) implica em admitir efeitos mais nocivos do vento quanto maior o período considerado e, por sua vez leva a necessidade de um maior enrijecimento do sistema estrutural. Em geral, a literatura atribui às estufas as expectativas mínimas de vida útil de 5, 10 e 15 anos. É, portanto, um fator de interesse para futuras pesquisas dos seus efeitos para o projeto estrutural de estufas agrícolas com coberturas em filmes plásticos. A variação da pressão dinâmica numa superfície leva em conta os coeficientes de pressão externos e externos, sendo que para as estufas agrícolas são apresentados os coeficientes específicos (EN 13031-1, 2019 e ABNT NBR 16032, 2012). Diferentemente das construções civis cobertas com telhas, para as quais os modelos estáticos são bem representativos, as coberturas com filmes plásticos têm os efeitos de batimento pela modificação instantânea da superfície de cobertura (VIEIRA NETO e SORIANO, 2020). Em situação de projetos em que as previsões de carga de vento ou outra ação variável não são contempladas pelas normas, a utilização da simulação computacional

torna-se uma importante ferramenta para estimativa destas ações nos elementos estruturais (YUN et al., 2014).

CONCLUSÕES: Dadas as variedades de culturas vegetais que possam ser suspensas à estrutura, verificou-se a necessidade de novas pesquisas para o complemento dessas ações. Sugere-se a abordagem sobre a previsão das cargas de cultivo pela ABNT NBR 16032 (2012) nas combinações das ações. A ação do vento para os projetos de estufas agrícolas tem seus valores definidos por normas, cabendo ainda estudos para o fator atrelado à expectativa de vida útil desse tipo de construção rural. A crescente demanda por grandes áreas de cultivos protegidos por estufas, bem como o comportamento flexível das coberturas com filme plástico de emprego a cada dia mais frequente, requerem modelos computacionais que permitam a simulação de cenários complexos, incluindo-se a interação fluido-estrutura.

AGRADECIMENTOS: Ao programa de Pós-Graduação da FEAGRI/UNICAMP.

REFERÊNCIAS:

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 1988. 110p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **16032**: Estrutura de estufa e viveiro agrícola - Requisitos de projeto, construção, manutenção e restauração. Rio de Janeiro, 2012. 61p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR **6120**: Ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019. 60p.

ÁVILA-JUÁREZ, L.; TORRES-PACHECO, I.; MERCADO-LUNA, A.; OCAMPO-VELÁZQUEZ, R.V. Tomato greenhouse productivity using interplanting system. *Acta Hortic.* v.947, p. 133-138, 2012.

BOTZEN, W. J. W.; BOUWER, L. M.; van den BERGH, J. C. J. M. Climate change and hailstorm damage: Empirical evidence and implications for agriculture and insurance. *Resource and Energy Economics.* v.32, p.341-362, 2010.

BRIASSOULIS, D.; WAAIJENBERG, D.; GRATRAUD, J.; Von ELSNER, B. Mechanical Properties of Covering Materials for Greenhouses: Part 1, General Overview. *Journal of Agricultural Engineering Research.* v.67, n.2, p.81-96, 1997.

CEAC. Total areas in major greenhouse production countries. In: **Controlled environment agriculture center** (CEAC). The University of Arizona Agricultural & Biosystems Engineering, 2012.

EN **13031-1** Greenhouses - Design and construction - Part 1: Commercial production greenhouses. European Committee for Standardization CEN. Brussels, Belgium, 2019.

GELDER, A.; HEUVELINK, E.; OPDAM, J. J. G. Tomato yield in a closed greenhouse and comparison with simulated yields in closed and conventional greenhouses. *Acta Horticulturae.* v.691, p.549-552, 2005.

MARTINS, S. G. G. L. **Estufas Agrícolas em Estrutura Metálica**: Caracterização da problemática dos danos resultantes da ação do vento. 97p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto, 2014.

MARY, W.; KENMOCHI, C. S.; COMETTI, N. N.; LEAL, P. M. Avaliação de Estrutura de Bambu como Elemento Construtivo para Casa de Vegetação. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.1, p.100-109, 2007.

McCARTNEY, L.; LEFSRUD, M. G. Protected Agriculture in Extreme Environments: A Review of Controlled Environment Agriculture in Tropical, Arid, Polar and Urban Locations. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 34, p. 455-473, 2018.

NA, W.H.; LEE, J.W.; RASHEED, A.; KWAK, C.S.; LEE, S.Y.; YOON, Y.C.; LEE, H.W. Calculation of Crop Loads for Structural Design of Greenhouse. **Protected Horticulture and Plant Factory**, v.26, n.4, p.301-309, 2017.

PONCE, P.; MOLINA, A.; CEPEDA, P.; LUGO, E.; MACCLEERY, B. **Greenhouse design and control**. London: CRC Press, 2014.

VIEIRA NETO, J. G.; SORIANO, J. Computational modelling applied to predict the pressure coefficients in deformed single arch shape greenhouses. **Biosystems Engineering**, v.200, p.231-245, 2020.

Von ELSNER, B.; Von BRIASSOULIS, D.; WAAIJENBERG, D.; MISTRITIS, A.; Von ZABELTITZ, C.; GRATRAUD, J.; RUSSO, G.; SUAY-CORTES, R. Review of structural and functional characteristics of greenhouse in European Union countries: Part I, Design requirements. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.75, p.1–16, 2000.

Von ZABELTITZ, C. **Integrated Greenhouse Systems for Mild Climates: Climate Conditions, Design, Construction, Maintenance, Climate Control**. Berlin: Springer-Verlag, 2011.

YUN, S. W.; SHIN, Y. S.; YU C.; YONN, Y. C. Analysis of working load on greenhouse foundation considering wind and snow load. **Acta Horticulturae**, v.1037, p.99-104, 2014.