

BIOLOGIA SINTÉTICA APLICADA NA AGROPECUÁRIA, QUÍMICA E FARMÁCIA: UMA REVISÃO

Jean Silva de Souza¹
 Carlos Henrique Souza Gonçalves¹
 Luiz Renato Marques das Almas¹
 Bruna Caroline de Souza²
 Odair Alberton³

SOUZA, J. S. de; GONÇALVES, C. H. S.; ALMAS, L. R. M. das; SOUZA, B. C. de; ALBERTON, O. Biologia sintética aplicada na agropecuária, química e farmácia: uma revisão. *Arq. Ciênc. Vet. Zool. UNIPAR*, Umuarama, v. 21, n. 2, p. 71-75, abr./jun. 2018.

RESUMO: A biologia sintética é uma ciência que está crescendo em estudos de pesquisas devido à capacidade que tem de criar organismos e micro-organismos vivos que produzam uma função que naturalmente não realizam. Pesquisadores têm se mostrado eficientes na criação de genes em laboratórios por meio do código da vida e sintetizadores, padronizando genomas com um determinado fim. A agronomia, química e farmácia têm sido as grandes áreas que essa ciência vem sendo desenvolvida. Portanto, o presente estudo teve como objetivo realizar uma pesquisa bibliográfica relatando alguns desenvolvimentos produzidos pelos pesquisadores das áreas afins. Com a biologia sintética foi possível a utilização de bactérias contra células cancerígenas, bactérias que produzem biocombustível, assim como antibióticos produzidos por bactérias, entre outros.

PALAVRAS-CHAVE: Agronomia. Engenharia genética. Veterinária.

SYNTHETIC BIOLOGY APPLIED IN AGRICULTURE, CHEMISTRY AND PHARMACY: A REVIEW

ABSTRACT: The number of research studies in synthetic biology is increasing due to its capacity of creating live organisms and micro-organisms that can produce features that are not naturally produced. Researchers have been efficient in creating genes in laboratory through the code of life and synthesizers, standardizing genomes for a given purpose. Agriculture, chemistry and pharmacy have been the main areas developed by this science. Therefore, this study had the purpose of performing a literature review reporting some of the developments produced by researchers in the correlated areas. Synthetic biology enabled the use of bacteria against cancer cells, bacteria that can produce biofuel, as well as bacteria-produced antibiotics, among others.

KEYWORDS: Agriculture. Genetic engineering. Veterinary.

BIOLOGÍA SINTÉTICA APLICADA EN LA AGROPECUARIA, QUÍMICA Y FARMACIA: UNA REVISIÓN

RESUMEN: La biología sintética es una ciencia que está creciendo en estudios de investigación debido a la capacidad que tiene de crear organismos y microorganismos vivos que produzcan una función que naturalmente no realizan. Investigadores se han mostrado eficientes en la creación de genes en laboratorios a través del código de la vida y sintetizadores, estandarizando genomas con un determinado fin. La agronomía, química y farmacia han sido las grandes áreas que esta ciencia viene siendo desarrollada. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo realizar una investigación bibliográfica relatando algunos desarrollos producidos por los investigadores de las áreas afines. Con la biología sintética fue posible el uso de bacterias contra células cancerígenas, bacterias que producen biocombustibles, así como antibióticos producidos por bacterias, entre otros.

PALABRAS CLAVE: Agronomía. Ingeniería genética. Veterinario.

INTRODUÇÃO

O pensamento de vida sintética vem sendo desenvolvido há alguns anos. No ano de 1987 Christopher Langton – pesquisador da ciência da computação – enuncia uma concepção denominada vida artificial, ao qual, a define como sendo o estudo dos comportamentos que o homem criou e que refletem ações características de sistemas vivos naturais (JUNQUEIRA, 2008).

Porém, o ramo da ciência sintética tem evoluído tão rapidamente nos últimos anos que não existe ainda uma de-

finição amplamente aceita por todos (HAYDEN, 2014; HAIMOVICH; MUIR; ISAACS, 2015). Entretanto, desde 2003 cientistas estão ampliando seus estudos em uma nova tecnologia denominada biologia sintética ou *synbio* (EASAC, 2011), atraindo a atenção distinta entre cientistas devido às técnicas desenvolvidas (SCHNEIDER, 2007).

De acordo com Junqueira (2008) “a biologia sintética é a tentativa de criar sistemas vivos a partir do início e dotá-los de novas funções.” Esses novos organismos criados podem ter diferentes funções que a humanidade necessita para sua sobrevivência. Portanto, a biologia sintética é um

DOI: 10.25110/arqvet.v21i2.2018.7303

¹Discente de Química Industrial, PIBIC, UNIPAR, Umuarama – PR.

²Discente do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia Aplicada à Agricultura da Unipar.

³Docente do Programa de Pós-graduação em Plantas Medicinais e Fitoterápicos na Atenção Básica da Unipar. E-mail: odair@prof.unipar.br

ramo da ciência que está avançando exponencialmente, devido às descobertas que os pesquisadores e estudantes da área estão se deparando. No entanto, com o foco em sintetizar novos remédios, bactérias antipoluentes, novos tecidos biológicos e demais outras possibilidades, a biologia sintética está se tornando uma área atraente, onde vários pesquisadores de outras linhas de pesquisa estão se interessando e ingressando nesse grupo (SILVA; PAULILLO, 2015).

A biologia sintética tem por objetivo construir e desenhar novos organismos vivos utilizando-se o código da vida A, C, T e G (adenina, citosina, timina e guanina) produzidos por sintetizadores no laboratório (SILVA; PAULILLO, 2015). De tal modo, com diversas combinações pesquisadores podem sintetizar genes que produzam determinada proteína e implantar no genoma de um organismo, induzindo-o a fabricar tal proteína que naturalmente ele é incapaz de produzir.

Essa tecnologia está sendo desenvolvida desde 2003, podendo ser denominada também de *Synbio*. Seus métodos desenvolvidos obtiveram atenção entre diversos cientistas ingressando-os nos estudos referentes à vida sintética. Em 2010 foi obtido um dos resultados mais significativos até então, por meio da publicação dos cientistas do *John Craig Venter Institute*, na revista *Science*, a criação do primeiro organismo vivo controlado por um genoma sintético – a bactéria *Mycoplasma mycoides* JCVI – syn 1.0 (SILVA; PAULILLO, 2015). Após tais resultados, diversos questionamentos surgiram no que diz a respeito aos pontos positivos e negativos a tal ciência (MEIDANIS, 2010) e a rápida queda de custo para realizar as técnicas de sequenciamento e síntese de DNA.

Assim, com a união dos princípios da engenharia genética, métodos de bioinformática e técnicas de laboratórios, os cientistas conseguem produzir microindústrias que exercem funções que naturalmente não faz parte do seu sistema de operação (VASCONCELOS; FIGUEIREDO, 2015), funções essas que se destacam em importância no ramo da agronomia, química e farmácia, devido aos produtos obtidos.

DESENVOLVIMENTO

Agropecuária

Ultimamente o Brasil é o maior exportador mundial de produtos agropecuários, sua agricultura tornou-se um dos elementos essenciais na economia do país, inserindo-o posteriormente nas potências mundiais, fornecendo suprimento de alimentos e energias renováveis por meio dos combustíveis produzidos pela biomassa (FRANÇA; OLIVEIRA; SAMPAIO, 2011).

Um dos objetivos da biologia sintética na agronomia é produzir vegetais resistentes a determinadas pragas que agridem as lavouras, como também, enriquecê-los com nutrientes (ROCHA; KOIDE, 2014).

Primeiro, inicia-se o procedimento identificando o gene resistente ao herbicida que está presente em uma bactéria, quando o gene é isolado e transferido a um hospedeiro resulta em um organismo transgênico (ROCHA; KOIDE, 2014), porém, quando esse gene é identificado, sequenciado e armazenado em bancos de dados, e por meio de sintetizadores utilizando bases nitrogenadas como reagentes, é possível

sintetizar esse gene no laboratório e inseri-lo no genoma de um hospedeiro, padronizando-o com seu código genético. Partindo do momento que esse organismo se reproduz com o código genético sintetizado produzindo os metabólitos da proteína referente ao gene inserido ele se torna um organismo sintético.

Desse modo, estudos referentes à fitoquímicos têm sido bem examinados por causa de seu valor no campo da química, farmácia e agronomia. Recentemente, Li, Li e Smolke (2018) demonstraram que atuais produções em escala industrial de fitoquímicos em leveduras é uma alternativa promissora na sua obtenção em plantas nativas. Todavia, não se tem conhecimento ainda do metabolismo secundário da planta e a reconstituição ineficiente das vias metabólicas em hospedeiros microbianos.

Do mesmo modo, estudos com micro-organismos vivos têm sido desenvolvidos igualmente, pois esses possuem a capacidade de realizarem a transformação de fontes de carbono como açúcares em biomoléculas complexas com baixo custo de energia, fazendo uso das técnicas da biologia sintética é possível aproveitar essa capacidade de produção de biomoléculas de interesses em biorreatores de baixo custo à escala industrial (BRIAT; KHAMMASH, 2018).

Porém, já era possível obter informação genética agregada às características benéficas de um organismo e adicioná-la em outro (BECSKEI; SERRANO, 2000), resultando em um organismo geneticamente modificado. Contudo, ultimamente já se torna possível sintetizar regiões codificadoras de proteínas apropriadas a metabólitos desejados pelo pesquisador e inserir em genomas de organismos, tornando-os organismos sintéticos.

Com a arte de domesticação de culturas, o homem tem selecionado o código genético das plantas e dos animais por meio de cruzamento e seleção de indivíduos com qualidades almejavéis (GRIFFITHS et al., 2008). Por meio da engenharia genética é permitido aos pesquisadores acelerar a técnica de desenvolvimento de novas gerações de plantas, animais e micro-organismos (CARRER; BARBOSA; RAMIRO, 2010), podendo acarretar em organismos melhorados produzindo determinadas proteínas de interesse biológico e industrial.

Outro produto de destaque sendo produzido por meio de organismos sintéticos é o etanol que pode ser produzido a partir de cana-de-açúcar, milho, trigo, e outros cultivos, porém há diversas questões referentes a essa geração de agrocombustíveis estar com problemas (BUCKERIDGE, 2010), por exemplo, já foram sintetizados micróbios que fazem a transformação da celulose em hidrocarbonetos parecidos com os produzidos pelas indústrias petroquímicas (GUAZZELLI; PEREZ, 2010), e com o uso da transgenia pode-se fazer com que a biomassa se desenvolva mais rápida, o que aumenta a produtividade em um curto período de tempo, fornecendo mais matéria-prima para que os micróbios sintéticos desenvolvam sua função.

Em termos de biomassa as plantas são tratadas com perspectiva industrial, estudos demonstram que futuramente os grandes provedores de biomassa - Cargill, *Archer Daniels Midland* (ADM), Bunge, Syngenta, Monsanto e outras vão controlar as empresas de biologia sintética (GUAZZELLI; PEREZ, 2010).

Atualmente ferramentas avançadas dessa ciência

estão sendo aplicadas no campo da microbiologia, assim como novas técnicas de clonagem e edição de genoma estão permitindo uma engenharia celular eficiente e altamente específica revolucionando todo o campo (PRIELHOFER et al., 2017).

Química

Progressos atuais têm permitido aos cientistas fazerem novas sequências de DNA sem a necessidade de um modelo pré-existente (SCHWARTZ; LEE; SHENDURE, 2012), que ao se combinarem com os progressos dos princípios da engenharia genética, técnicas de bioinformática e de laboratório, os cientistas redesenham organismos para executarem funções totalmente novas, como a fabricação de biocombustíveis ou secreção de precursores de drogas farmacêuticas (BALMER; MARTIN, 2008).

Na biologia sintética, diversos genes são eleitos, transformados e/ou criados para arquitetar circuitos gênicos, que serão testados e implantados no hospedeiro para exercer as funções de interesse (SILVA-ROCHA; TIE, 2014).

O petróleo bruto é composto por uma mistura de hidrocarbonetos, apresentando contaminações de enxofre (S), nitrogênio (N), oxigênio (O) e metais. Ele tem suas vantagens e desvantagens, pois, além de ser um fornecedor de energia, as pessoas utilizam bens derivados do petróleo para o seu consumo (MARIANO, 2001).

Em contrapartida, as refinarias de petróleo são grandes poluidoras, consumindo grandes quantidades de água e energia e gerando como subprodutos grandes despejos líquidos (MARIANO, 2001). Atualmente, micro-organismos atuam na detecção e no controle de vazamento em plataformas de petróleo degradando o composto rapidamente, evitando assim, o seu espalhamento, e esses tais micro-organismos são controlados por genes sintetizados em laboratórios (ROCHA; KOIDE, 2014).

A biologia sintética vem se desenvolvendo com novas técnicas e novas descobertas a cada ano, sendo que outra subárea da química que está se desenvolvendo de forma perceptível, é a geração de bioenergia. Devido à qualidade da madeira do *Eucalyptus* – por exemplo – faz-se necessário pesquisas em desenvolvimento de materiais genéticos (NEVES et al, 2013).

No Brasil, os cientistas do Laboratório Nacional de Ciência e Tecnologia do Bioetanol (CTBE), localizado em Campinas, estão trabalhando em prol da engenharia de bactérias e fungos com enzimas que atacam a parede celular vegetal, podendo auxiliar na produção da segunda geração de etanol (BUCKERIDGE, 2010).

Um dos alvos da biologia sintética têm sido as bactérias capazes de realizar fotossíntese, devido ao fato de que a bioenergia que o planeta precisa está nas ligações entre carbono e o único modo de armazenar essa energia é por meio da fotossíntese. Como exemplo pode ser citado as cianobactérias, que são produtoras de lipídios e que podem funcionar como biodiesel, de tal modo a possibilitar a montagem de sistemas industriais e colocá-las para a produção de bioenergia (BUCKERIDGE, 2010).

Outro exemplo se refere aos raios ultravioletas UV-A e UV-B da luz solar que ocasionam danos ao DNA (BALOGH et al., 2011) e podem gerar espécies reativas de

oxigênio, prejudicando os seres vivos. Devido ao esgotamento da camada de ozônio estratosférico, a intensidade da luz UV na Terra aumentou (SOUZA, 2013). Portanto, o uso de protetores solares a base de compostos orgânicos e inorgânicos sintéticos que filtram uma adequada quantidade de raios UV tem sido útil aos seres humanos diminuindo danos causados à pele. Contudo, esses filtros têm se mostrado menos compatíveis com ecossistemas aquáticos, deste modo, procuram-se produtos mais “amigáveis” com o meio ambiente (SOUZA, 2013).

Todavia, uma grande parte de organismos aquáticos produzem os aminoácidos semelhantes a micospolina (MAA) - uma família constituída por 30 metabólitos secundários que são solúveis em água e são expostos a altos níveis de radiação UV. Os MAAs convertem a energia absorvida no calor e não formam espécies livres de oxigênio, constituindo filtros solares biodegradáveis e a sua biossíntese tem sido bem sucedida em muitos organismos (YANG et al, 2018).

Atualmente, há bancos de dados com diversos códigos de genes disponíveis para serem impressos – *biobricks*. A biologia sintética está substituindo algumas matérias-primas, bactérias estão sendo denominadas de microindústrias e no campo de química já possuem diversas bactérias e outros organismos produzindo reagentes essenciais aos laboratórios e a comunidade (SILVA et al., 2015; VASCONCELOS; FIGUEIREDO, 2015). Há estudos que relatam a produção de borrachas sintéticas sendo derivadas de fontes petroquímicas, porém estão sendo estudados métodos para se criar pneus feitos de *Biosoprene*, ou seja, enzimas são introduzidas em micro-organismos que passam a produzir o isoprene (CAO et al., 2018; LI; LI; SMOLKE, 2018).

Farmácia

Além dos biocombustíveis, bioenergia, poluição entre outros, uma questão preocupante são os antibióticos.

Técnicas de biologia sintética estão sendo desenvolvidas para a produção desses agentes. Porém, muita das vezes há processos que acabam sendo mais eficiente o uso de recombinante do que sintéticos devido ao custo. Como exemplo, existem muitos organismos vivos que produzem naturalmente peptídeos antimicrobianos (AMPs) que atuam como mecanismo de defesa contra patógenos invasores, contendo entre 12 a 50 resíduos de aminoácidos, não possui uma estrutura 3D complexa que possa ser sintetizada quimicamente em pequenas quantidades para estudo em laboratório, sendo que sua síntese química tem um custo alto podendo variar entre US \$ 100 – 1000 para 1 mg de AMP, por isso, não é sintetizado em grandes escalas (CAO et al., 2018).

Contudo, por meio da biologia sintética Liu et al. (2018), desenvolveram uma estratégia alternativa para o fornecimento de breviscapina – usada para o tratamento de doenças cardiovasculares e cerebrovasculares – por meio da levedura, no qual, através do *Erigon breviscapus* identificaram duas enzimas essenciais na biossíntese: flavonoide-7-O-glucuronosiltransferase e flavona-6-hidroxilase. Assim, é possível o desenvolvimento de leveduras para produzir breviscapina a partir de glicose. Com isso, o emprego da biologia sintética é de grande valor, pois, por meio dela é possível desenvolver tratamentos a um número enorme de doenças que atingem seres humanos e outros seres vivos de uma ma-

neira geral.

De tal modo, novas drogas estão sendo produzidas por meio de técnicas de biologia sintética, nesse intuito, destaca-se o uso da bactéria *Escherichia coli*, na produção do ácido artemisínico – precursor da artemisina, substância ativa da droga antimalárica. Também se sobressai a levedura *Saccharomyces cerevisiae*, na produção de Taxol, antitumoral e na síntese do acetato de hidrocortisona, assim como na produção de anti-inflamatórios esteroides a partir da glicose (EASAC, 2011).

Outra forma em que a vida sintética está se destacando é na criação de bacteriófagos sintéticos, que tem a possibilidade de desenvolvimento de antibióticos contra infecções que produzem biofilme (SONNEBURG; FISCHBACH, 2012). Já no caso de câncer, bactérias sintéticas podem infectar células do cancro do cólon do útero podendo inativar o gene CTNNB1 não permitindo que se expresse nem invade as células (RUDER; LU; COLLINST; 2011).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biologia sintética tem sido importante no uso das grandes áreas de pesquisa, fornecendo resultados positivos na ação contra patógenos, vírus e bactérias. Assim como na produção de organismos e micro-organismos sintéticos que tem como funções ações antes não imaginadas e testadas por pesquisadores nos programas de computadores.

Esta ciência tem se mostrado bastante promissora, com as conquistas durante esse tempo desde seu surgimento. Porém, não se pode esquecer que o que é sintetizado pode ser para bem ou para o mal, dependendo da bioética do pesquisador e a resposta da população.

Todavia, é uma linha de pesquisa que está crescendo. A cada momento que passa pesquisadores estão ingressando nela com o intuito de fazer novas descobertas e assim, se tornando parte desse grupo de pesquisa que busca fazer a conversão de indústrias em microindústrias por meio de engenharia genética.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Universidade Paranaense – UNIPAR pelo apoio à pesquisa. Odair Alberton agradece a bolsa produtividade de pesquisa concebida pelo CNPq.

REFERÊNCIAS

BALMER, A.; MARTIN, P. **Synthetic biology**: social and ethical challenges. Nottingham: University of Nottingham, 2008. 32 p.

BALOGH, T. S. et al. Proteção à radiação ultravioleta: recursos disponíveis na atualidade em fotoproteção. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 86, n. 4, p. 732-742, 2011.

BECSKEI, A.; SERRANO, L. Engineering stability in gene networks by autoregulation. **Nature**, London, v. 405, p. 590-593, 2000.

BRIAT, C.; KHAMMASH, M. Perfect adaptation and optimal equilibrium productivity in a simple microbial

biofuel metabolic pathway using dynamic integral control. **ACS Synthetic Biology**, v. 7, n. 2, p. 419-431, 2018.

BUCKERIDGE, M. A biologia sintética e a bioenergia. **FAPESP**, 2010, p 50-51.

CAO, J. et al. Yeast-based synthetic biology platform for antimicrobial peptide production. **ACS Synthetic Biology**, v. 7, n. 3, p. 896-902, 2018.

CARRER, H.; BARBOSA, A. L.; RAMIRO, D. A. Biotecnologia na agricultura. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 24, n. 70, p. 149-164, 2010.

EASAC. European academies science advisory council. 2011. Synthetic Biology: An introduction. **Academia Europaea**, p 1-16, 2011.

FRANÇA, J. G. E.; de OLIVEIRA, E.; SAMPAIO, M. J. **O sucesso da agricultura brasileira, o desenvolvimento científico nacional e as ciências básicas**. Parc. Estrat. Brasília-DF: Editora Esp, v. 16, n. 32, p. 379-384, 2011.

GRIFFITHS, A. J. F. et al. **Introdução à genética**. 9. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2008. 712 p.

GUZZELLI, M. J.; PEREZ, J. Biologia sintética: fabricando novas formas de vida. **Novas Tecnologias**. 2010.

HAIMOVICH, A. D.; MUIR, P.; ISAACS, F. J. Genomes by design. **Nature Reviews Genetics**, London, v. 16, p. 501-516, 2015.

HAYDEN, E. C. Synthetic biology firms shift focus: witch to food and fragrances risks consumer rejection. **Nature**, London, v. 505, p. 598, 2014.

JUNQUEIRA, L. Biotecnologia e inteligência sintética. **Com ciência [online]**, n.102, p 0-0, 2008. Disponível em: <http://www.comciencia.br/comciencia/handler.php?section=8&edicao=39&id=471> Acesso em: 14 maio 2018.

LI, S.; LI, Y.; SMOLKE, C. D. Strategies for microbial synthesis of high-value phytochemicals. **Nature Chemistry**, v. 10, 395-404, 2018.

LIU, X. et al. Engineering yeast for the production of breviscapine by genomic analysis and synthetic biology approaches. **Nature communications**, v. 9, 2018.

MARIANO, J. B. **Impactos ambientais de refino do petróleo**. 2001. 95 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro

MEIDANIS, J. Craig Venter, um bem necessário. **Fapesp**, p. 48-49, 2010.

NEVES, T. A. et al. Qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus* em diferentes idades para a produção de bioenergia. **Amazonian Journal of Agricultural and**

Environmental Sciences, v. 56, n. 2, p. 139-148, 2013.

PRIELHOFER, R. et al. Golden *PiCS*: a Golden Gate-derived modular cloning system for applied synthetic biology in the yeast *Pichia pastoris*. **BMC Systems Biology**, v. 11, n. 1, p. 123- 137, 2017.

ROCHA, R. S., KOIDE, T. Desafios da biologia sintética. **Ciência hoje**, 10 junho 2014. Disponível em: <http://www.cienciahoje.org.br/revista/materia/id/844/n/desafios_da_biologia_sintetica> Acesso em 23 fevereiro 2018.

RUDER, W. C.; LU, T.; COLLINST, J. J. Synthetic biology moving into the clinic. **Science**, v. 333, p. 1248-1252, 2011.

SCHNEIDER, M. **Biologia sintética**. Biblioteca Digital da Câmara dos Deputados 1-6. 2007.

SCHWARTZ, J. J.; LEE, C.; SHENDURE, J. Accurate gene synthesis with tag-directed retrieval of sequence-verified DNA molecules. **Nature Methods**, New York, v. 9, n. 9, p. 913-915, 2012.

SILVA, J. B. G.; PAULILLO, L. C. M. S. Biologia sintética: possibilidades e desafios. **Revista da Biologia**, v. 14, n. 1, p. 33-39, 2015.

SILVA-ROCHA, R.; TIE, K. A biologia sintética e a reprogramação de organismos vivos. **Ciência Hoje**, São Paulo, v. 53, p. 32, 2014.

SONNENBURG, J.; FISCHBACH, M. A. **Community Health Care: Therapeutic opportunities in the human microbiome**. 27 fevereiro 2012. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3287364/>> Acesso em 23 fev. 2018.

SOUSA, S. A. **A radiação ultravioleta nos ecossistemas aquáticos e seus impactos nas diferentes espécies: uma revisão bibliográfica**. 2013. 42 f. Monografia (Trabalho de conclusão de curso) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

VASCONCELOS, M. J. V.; de FIGUEIREDO, J. E. F. **Biologia sintética**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 35 p, 2015.

YANG, G. et al. Photosynthetic production of sunscreen shinorine using an engineered cyanobacterium. **ACS Synthetic Biology**. v. 7, n. 2, p. 664-671, 2018.

Recebido em: 25.07.2018

Aceito em: 16.10.2018