



OS IMPACTOS DO MOSQUITO TRANSGÊNICO AO HOMEM E AO MEIO AMBIENTE

ARTIGO ORIGINAL

SILVA, Agnaldo Plácido da ¹

PLÁCIDO, Eloá Jessica Mendes dos Santos ²

MORAES, Walber Breno de Souza ³

SILVA, Agnaldo Plácido da. PLÁCIDO, Eloá Jessica Mendes dos Santos. MORAES, Walber Breno de Souza. **Os impactos do mosquito transgênico ao homem e ao Meio Ambiente.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 05, Ed. 10, Vol. 09, pp. 158-176. Outubro de 2020. ISSN: 2448-0959, Link de acesso: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/biologia/mosquito-transgenico>

RESUMO

Um dos maiores desafios atualmente para a saúde pública no Brasil e no mundo são as doenças transmitidas por vetores, sendo as atuais medidas de controle ineficientes. Os mosquitos estão entre os vetores de várias doenças, por serem hematófagos, as fêmeas necessitam de sangue no período de ovulação para reprodução e uma vez contaminado, o mosquito pode conter bactérias, protozoários e vírus que se alocam

¹ Doutorando em Ciências Biomédicas pela IUNIR - Instituto Universitário Italiano de Rosário – Argentina. Especialista em Cirurgia e Traumatologia Bucomaxilofacial pela Ciodonto – Clínica Integrada de Odontologia. Graduado em odontologia pela ASCES – Associação Caruaruense de Ensino Superior. Graduado em Biologia pela UPE – Universidade de Pernambuco.

² Graduanda do Curso de Fisioterapia da Faculdade UNISSAU.

³ Mestre em Recursos Naturais – UFCG. Licenciatura em Biologia UPE- Universidade de Pernambuco. Professor da UNOPAR.



em suas glândulas salivares, infectando assim o indivíduo diretamente na corrente sanguínea. O *Aedes aegypti* é o responsável pelas doenças: dengue, zika, chikungunya e febre amarela. As Formas de controle para os mosquitos vetores até o momento são ineficazes, e com isso diversas tecnologias têm sido desenvolvidas como alternativas no controle e combate ao mosquito *Aedes aegypti*. Com as recentes aprovações para a liberação de insetos geneticamente modificados, há uma necessidade de estudos mais detalhados para avaliar seu potencial ecológico e efeitos evolutivos. Esses efeitos podem ocorrer em duas fases: uma fase transitória quando a população focal muda em densidade, e uma fase de estado estacionário quando atinge uma densidade nova e constante. Com as inovações no âmbito do controle vetorial por meio de insetos geneticamente modificados nos dar uma nova perspectiva em relação a manipulação genética. Este estudo tem como objetivo avaliar os efeitos potenciais de uma mudança rápida na densidade do mosquito *Aedes aegypti* relacionado com o controle biológico através do mosquito geneticamente modificado. Então nos perguntamos, a Biotecnologia pode ser uma solução para os problemas de saúde pública no caso do mosquito *Aedes aegypti* ou um problema? Já que a transformação ou modificações desses seres vivos em laboratórios são técnicas novas que até o momento é impossível saber quais serão as consequências em longo prazo.

Palavras-chaves: Seleção genética, animais transgênicos, *Aedes aegypti*, mosquitos, controle de mosquito.

INTRODUÇÃO

Os mosquitos vêm sendo intensamente estudados desde o século XIX quando foram pela primeira vez relacionada com vetores de enfermidades para o homem e outros vertebrados (WILKE; GOMES *et al.*, 2009). Os gêneros *Culex*, *Anopheles* e *Aedes* são os vetores de três grupos de patógenos humanos: malária do gênero *Plasmodium*, filárias dos gêneros *Wuchereria* e *Brugia* e numerosos arbovírus, e os agentes da dengue e da febre amarela (TAIPE-LAGOS e NATAL, 2003).



Na legislação pátria, o inciso I, do artigo 3º, da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei Federal nº 6.938/81), define meio ambiente como sendo "o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas" (FARIAS, 2017).

Os processos de degradação ambiental, que vem ocorrendo principalmente como resultado de atividades antropogênicas, estão alterando o equilíbrio ecológico e proporcionando habitats adequados para que vetores de doenças como os mosquitos possam se reproduzir, desenvolver e transmitir doenças (KWEKA; KIMARO e MUNGA, 2016). Os desastres ambientais que vem sendo ocasionados pela exploração desordenada do homem por recursos naturais e pelo desenvolvimento do processo de urbanização e industrialização vem alcançando proporções inimagináveis, colocando em risco a saúde humana (BARBIERI, 1998). Esses graves desequilíbrios ambientais que têm alcançado uma escala global, colocando em evidência o quadro de destruição da natureza, essas situações de transformações ambientais são o que mais favorecem para o aparecimento de novas doenças (SCHMIDT, 2007) (KWEKA; KIMARO e MUNGA, 2016). Em uma entrevista dada no Diálogo Chino Ulysses Confalonieri, pesquisador da Fundação Oswaldo Cruz afirmou que "o desmatamento sempre foi uma das principais causas de doenças tropicais no Brasil" (VEIGA, 2017). Estudos vêm demonstrando que alterações ambientais e distúrbios ecológicos, sejam eles de causa natural ou de causa antropogênica, podem exercer uma influência marcante na emergência e proliferação de certas doenças (SACCARO JUNIOR; MATION e SAKOWSKI, 2015). Diversos mecanismos já foram sugeridos para explicar como o desequilíbrio ambiental vem contribuindo para o aumento das doenças causadas por mosquitos (SACCARO JUNIOR; MATION e SAKOWSKI, 2015).

As literaturas científicas nacionais e internacionais demonstram que os Vírus e as bactérias, na natureza, aguardam o momento ideal para atingirem o ser humano. As brechas são criadas pelo homem através de décadas de alteração e destruição do meio ambiente, considerando o espaço de tempo entre o desenvolvimento da sociedade humana primitiva até a atualidade, e as formas como os recursos naturais



têm sido explorados pelo homem, tem influenciado no contexto do que vem acontecendo nos dias atuais, visto que as matas deram lugar à agricultura e a centros urbanos de tamanhos variados (UJVARI, 2003).

A partir da alteração do meio ambiente alguns seres vivos que tinham como habitat as matas, passaram a viver nas cidades com o homem, entre esses seres podemos encontrar o mosquito, um inseto que pode ser encontrado em quase todas as partes do mundo, sendo, no entanto, o vetor da malária, febre amarela, dengue, chikungunya, zika e outras doenças graves. Para isso o mosquito necessita de alguns fatores como problemas na infraestrutura das cidades, falta de saneamento básico, que favorecem a proliferação e disseminação do mosquito (NEVES; MELO *et al.*, 2005).

Estas patologias têm em comum o mosquito *Aedes aegypti*, que é o transmissor de doenças conhecidas como arboviroses e que se apresenta com importante destaque epidemiológico (SANTOS; SILVA *et al.*, 2017) (LOURENÇO e RODRIGUES, 2017). O *Aedes aegypti* pode ser definido pela sua resistência e capacidade de se adaptar a ambientes diferentes, é um mosquito proveniente da África, da família Culicidae, hoje distribuído por quase todos os territórios mundiais, o *Aedes aegypti* é considerado pela Agência Europeia para Prevenção e Controle de Doenças umas das espécies de mosquitos mais irradiados pelo planeta (BRAGA e VALLE, 2007).

No século passado, durante as décadas de 1950 e 1960, foram criados diversos programas de controle de vetores em vários países, utilizando estratégias químicas sem restrição do uso como o DDT. E nos dias atuais essas medidas de controle do mosquito *Aedes aegypti* tem se mostrado menos eficiente do que quando utilizadas na década de 1950 (WILKE; GOMES *et al.*, 2009). Atualmente diversas estratégias de controle da população do mosquito *Aedes aegypti* vem sendo desenvolvida, como o Mapeamento de risco, compostos naturais, Wolbachia, mosquitos dispersores de inseticidas, técnica do inseto estéril, mosquitos transgênicos e outra (ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE, 2019) (ZARA; SANTOS *et al.*, 2016). No combate ao mosquito *Aedes aegypti* alguns tipos de mecanismos básicos de controle podem ser utilizados: mecânico, químico e biológico (HOY, 1985) (ZARA; SANTOS *et al.*, 2016).



As estratégias genéticas que vem sendo desenvolvidas para o controle de vetores são possíveis dividi-las em duas etapas. A primeira etapa propõe reduzir ou mesmo eliminar espécies de mosquitos através do desenvolvimento de genes letais, ou capazes de tornar os insetos estéreis, nessa técnica os insetos não necessitam de esterilização por radiação (POST-PN-360, 2010) (DONOVAN, 2009). Na segunda etapa envolve a transformação ou substituição da população, através da introdução de um gene efetor para reduzir ou bloquear a transmissão da doença na população de insetos selvagens (ARAÚJO; CARVALHO *et al.*, 2015), (ANDRADE; ARAGÃO *et al.*, 2016).

A Oxford Insect Technology (Oxitec Ltd. Oxford, Inglaterra), empresa que tem como foco o desenvolvimento de tecnologia para o combate do mosquito com o uso de linhagens transgênicas, desenvolveu uma linhagem de *Aedes aegypti* para controle populacional. Atualmente a linhagem OX513A foi a primeira que mostrou os melhores resultados em laboratório, e recebeu aprovação técnica da Comissão Técnica Nacional de Biossegurança (CTNBio) para liberação comercial no Brasil (ZARA; SANTOS *et al.*, 2016) (POST-PN-360, 2010).

SUPRESSÃO POPULACIONAL DE INSETOS COM GENE LETAL DOMINANTE

Esse é um método conhecido como sistema RIDL proposto por Thomas que consiste em um mecanismo em que um gene letal dominante é associado a um promotor específico de fêmeas, como, por exemplo, o promotor de vitelogenina (WILKE; GOMES *et al.*, 2009) (ALPHEY; BENEDICT *et al.*, 2010).

Nessa técnica o gene letal dominante que foi introduzido no mosquito pode ser desativada na presença de tetraciclina. Durante a separação dos mosquitos machos e fêmeas, a tetraciclina é removida do sistema, causando a morte de todas as fêmeas (OLIVEIRA; CARVALHO e CAPURRO, 2011). O sistema é bloqueado quando existe a presença de tetraciclina no interior do mosquito, pois tTA tem mais afinidade por tetraciclina do que a tetO (ALPHEY, 2002). Desta forma, todos os machos RIDL homozigotos liberados no meio ambiente irão copular com fêmeas selvagens e toda



a prole serão portadoras do transgene, na falta da tetraciclina em sua dieta esses mosquitos morrerão por toxicidade causada pelos altos níveis de tTA nas células (OLIVEIRA; CARVALHO e CAPURRO, 2011) (WILKE; GOMES *et al.*, 2009).

AS ESTRATÉGIAS DE SUBSTITUIÇÃO POPULACIONAL

Essas estratégias envolvem a substituição permanente de uma população selvagem de insetos por variedades GMs que foram alteradas com a finalidade de torná-las menos capazes de transmitir doenças (TERENIUS; MARINOTTI *et al.*, 2008). “Essa afinação esta baseada na hipótese de que um aumento da frequência em uma população vetorial de um gene que interfere com um patógeno resultarão na redução ou eliminação da transmissão desse patógeno” (COLLINS e JAMES, 1996).

Essa abordagem consiste na criação de um inseto transgênico que seja capaz de matar, ou impedir a replicação ou disseminação de um patógeno específico, ou seja, capaz de morrer uma vez que seja infectado pelo microrganismo (TERENIUS; MARINOTTI *et al.*, 2008).

Isso aconteceria durante a transformação das células de um mosquito com um microrganismo, que transcreve um RNA invertido-repetido (RNAir) derivado do genoma. Podemos citar como exemplo o vírus da dengue tipo 2, esse vírus é capaz de gerar um RNA dupla fita, que por sua vez vai ativar a via de RNA de interferência (RNAi), que é capaz de inibir o ciclo viral impedindo a replicação do vírus no mosquito (ADELMAN; SANCHEZ-VARGAS *et al.*, 2002).

Em todos os casos da criação de mosquitos GMs para liberação no meio ambiente, é essencial o uso de tecnologias de sexagem, onde só os machos podem ser liberados, uma vez que não se alimentam de sangue, como as fêmeas, reduzindo-se o risco de picadas e a transmissão de doenças (WISE DE VALDEZ; NIMMO *et al.*, 2011).

Para David a liberação de inseto GMs deve ser considerada uma perturbação ecológica cujos efeitos adversos podem ocorrer em duas fases: na primeira ocorre uma fase transitória durante a qual a população dos insetos que incluem os insetos



GMs liberados muda rapidamente em densidade, na segunda é a fase do estado estacionário durante a qual a população se estabiliza em uma densidade constante (DAVID; KASER *et al.*, 2013).

FASE TRANSITÓRIA

Nessa fase podemos avaliar os efeitos evolutivos resultantes das mudanças transitórias do fluxo gênico. Esse fluxo gênico é todos os mecanismos que resultam da troca de informações e o movimento de genes de uma população para outra, que pode ocorrer nos gametas ou segmentos do DNA extracelular entre populações de uma mesma espécie, no entanto, são conhecidos alguns casos de troca genética interespecífica (WHITTEMORE e SCHAAL, 1991) (SLATKIN, 1985). Onde um gene vantajoso pode atuar de forma positiva se espalhando facilmente em uma população em crescimento, quando isto acontece por um longo período, pode-se ter a formação de uma nova espécie, devido à influência reduzida da deriva genética, algumas dessas mudanças também podem passar para a fase de estado estacionário (GOULD e SCHLIEKELMAN, 2004). Embora o fluxo gênico entre populações e subespécies possa ser desejado no caso de liberação de insetos transgênicos portadores de um gene letal dominante (RIDL), é necessário se leva em conta a importância dos efeitos do fluxo gênico que pode vir a ser desastroso (GOULD e SCHLIEKELMAN, 2004).

“Para Prakash a introdução de um gene em células diferentes pode resultar em resultados diferentes, e o padrão geral de expressão gênica pode ser alterado pela introdução de um único gene” (PRAKASH; VERMA *et al.*, 2011).

Também é necessário levar em conta os impactos da hibridação, a mistura pode ter vários efeitos, variando de diminuição da aptidão à heterose (FACON; CRESPIN *et al.*, 2011).

Segundo David foi observada mistura em várias espécies de insetos, como nas abelhas *Apis mellifera carnica* e *Apis mellifera linguista* hibridando com populações nativas de *Apis mellifera* no noroeste da Europa e na introdução de *Drosophila melanogaster* africana em populações americanas. (DAVID; KASER *et al.*, 2013)



A hibridação pode implicar em novas vantagens genéticas para o indivíduo misturado (FACON; CRESPIN *et al.*, 2011). Podemos encontrar na literatura vários exemplos de fluxo genético intraespecífico entre organismos transgênicos, principalmente em relação às culturas transgênicas. Embora alguns pesquisadores afirmem que haja uma diferença entre as culturas geneticamente modificadas e as pragas de insetos em sua fisiologia e finalidade, porém se deve levar em conta que as culturas transgênicas podem nos oferecer muitas informações valiosas sobre os vários tipos de efeitos possíveis entre organismos transgênicos. Numerosos estudos vêm nos mostrando que o fluxo intraespecífico do gene manipulado pode ocorrer entre variedades GMs e não GMs de várias culturas. Podemos citar como exemplo, o México, onde foram encontrados em uma plantação de milho, transgenes de cultivares de milho Bt (MERCER e WAINWRIGHT, 2008). O fluxo gênico interespecífico transitório pode ocorrer através do acasalamento, hibridação e introgressão entre organismos GMs e não GMs. Se essa hibridação ocorre em um sistema natural, poderá vir a produzir muitas consequências ecológicas, podendo resultar em fortes impactos negativos para espécies nativas (KENIS; AUGER-ROZENBERG *et al.*, 2009).

INTERAÇÕES ECOLÓGICAS

A biologia vem nos mostrando a cada dia, vários tipos de interações ecológicas entre os seres vivos que podem ser consideradas harmônicas ou desarmônicas. Um organismo transgênico pode assumir uma das muitas funções ecológicas, como consumidor, concorrente ou vetor de doença. Esse tipo de alteração pode ocorrer durante a fase transitória, e podem levar a vários efeitos ecológicos. Se uma alteração na densidade populacional de um inseto for afetada devido à liberação de insetos GMs, poderá acarretar um aumento na população de predadores devido a uma disponibilidade de presas (ROYAMA, 1984), mesmo que uma liberação de insetos GMs não venha necessariamente causar mudanças na biomassa, o aumento na população de um inseto pode ter consequências indesejadas, se um grande número de agentes é liberado para complementar uma população que ocorre naturalmente, isso pode vir a aumentar a população de seus predadores (SNYDER e EVANS, 2006).



FASE ESTACIONÁRIA

Se levarmos em conta que a liberação de insetos GMs tenha sido bem-sucedida, a população local de insetos deve apresentar uma nova densidade de estado estacionário após as mudanças transitórias na densidade. Durante este estado é possível identificarmos efeitos evolutivos e ecológicos que surgiram durante esta fase (DAVID; KASER *et al.*, 2013).

Para Myers a evolução não é previsível, apesar da nossa incapacidade de prever os produtos da evolução, podemos prever estimativas significativas sobre os processos evolutivos, pois eles serão afetados pelo esgotamento da diversidade biológica (MYERS e KNOLL, 2001).

“Para David à medida que uma comunidade se ajusta à densidade populacional focal alterada, mudanças na frequência de certas interações de espécies podem resultar em novas pressões de seleção em curtos prazos” (DAVID; KASER *et al.*, 2013).

Vários casos de evolução rápida já foram documentados após invasões de espécies, temos como exemplo na Austrália o percevejo *Leptocoris tagalicus*, que evoluiu desenvolvendo peças bucais de 5 a 10% mais longas, em um período de 30 a 40 anos, permitindo que ele se alimentasse das sementes de uma videira invasora *Cardiospermum grandiflorum* (CARROLL; LOYE *et al.*, 2005), deve-se levar em conta que uma evolução rápida pode acontecer em uma espécie de inseto liberada para a supressão da espécie local, essas extinções podem ter grandes consequências evolutivas (ANDERSON; KELLY *et al.*, 2011).

Insetos GMs podem alterar a evolução da virulência e transmissão de um patógeno vetorizado, primeiro as linhagens competindo dentro de um hospedeiro podem afetar a virulência e segundo as linhagens individuais transmitidas entre os hospedeiros podem levar a uma troca potencial entre esses dois níveis. A seleção que atua na virulência do parasita é mais complicada quando um hospedeiro pode abrigar simultaneamente várias cepas ou genótipos diferentes de um parasita. Na qual existe



uma hierarquia de dominância, de modo que apenas a cepa mais virulenta em um hospedeiro é transmitida (MAY e NOWAK, 1995).

INTERAÇÕES ECOLÓGICAS

Como foram afirmados anteriormente, os seres vivos mantêm entre si vários tipos de interações ecológicas, quando há uma redução em longo prazo de uma espécie de insetos podem ter consequências para outras espécies em interação (PRAKASH; VERMA *et al.*, 2011). Essas consequências podem ser facilmente observadas quando uma espécie é removida ou extirpada, gerando um efeito indireto no ecossistema. É necessário identificá-los, antes de qualquer liberação específica de insetos transgênicos, mas para isso é necessário, informações ecológicas sólidas sobre as interações da comunidade e funções do ecossistema das espécies locais. O grande problema é que essa informação raramente existe, mas não deve ser interpretada como a ausência de possíveis efeitos indiretos (DAVID; KASER *et al.*, 2013).

Podemos citar como exemplo um estudo realizado por Crawford que mostram que as populações de anfíbios em todo o mundo está experimentando um declínio sem precedentes, esse declínio foi atribuído a um patógeno fúngico, o *Batrachochytrium dendrobatidis* (CRAWFORD; LIPS e BIRMINGHAM, 2010). Esse recente declínio dos anfíbios mostram-nos um exemplo de como a redução da população de espécies pode afetar os processos do ecossistema (DAVID; KASER *et al.*, 2013). Poucos estudos até o momento avaliaram o papel dos girinos e a sua importância em manter a bioturbação de sedimentos na água, a sua remoção dos sistemas aquáticos diminui a ressuspensão dos sedimentos que leva ao aumento da biomassa e de diatomáceas, gerando uma disponibilidade reduzida de algas usadas por outras espécies como alimento, afetando a abundância e a diversidade dos recursos basais como também influenciado na dinâmica da rede alimentar de outros consumidores primários (RANVESTEL; LIPS *et al.*, 2004).

Nos sistemas ecológicos todos os seres vivos interagem com outros organismos e com o seu ambiente (PRAKASH; VERMA *et al.*, 2011). Esta é uma das razões que fazem do sistema biológico algo tão difícil de estudar, são essas possibilidades de



interações diferentes com organismos e com o ambiente que o torna tão complexo (JUNIOR, 2013). Temos que levar em conta que o sistema ecológico pode se influenciado pela histerese que é a incapacidade de um sistema retornar ao seu estado original a partir de um estado alternativo (BEISNER; HAYDON e CUDDINGTON, 2003). A histerese pode dificultar a restauração de uma vegetação nativa em um habitat invadido, tendo como exemplo a remoção de planta invasora podem aumentar o número de plantas exóticas em vez de aumentar o número de plantas nativas de um habitat. O mesmo pode vir a acontecer com a liberação de insetos GMs que poderá induzir uma fase de estado estacionário indesejável impossibilitando uma reversão (DAVID; KASER *et al.*, 2013).

“Para David os efeitos evolutivos da fase transitória podem persistir na fase de estado estacionário, e vários novos efeitos também podem ocorrer” (DAVID; KASER *et al.*, 2013). Segundo Tsetsarkin a troca de vetores já foi observada nos mosquitos, o vírus da chikungunya sofreu mutações adaptativas para mudar para o vetor *Aedes albopictus* de outras espécies de *Aedes* (TSETSARKIN e WEAVER, 2011). Alguns fatores podem influenciar a capacidade do vetor: como a vida útil do vetor, frequência de contato entre mosquitos e hospedeiros e a suscetibilidade geral ou capacidade de resistência do vetor ao mosquito, esses fatores podem evoluir em outros vetores, os declínios nos habitats, podem favorecer o surgimento de novas espécies para colonizar os espaços devido à liberação competitiva (COHUET; HARRIS *et al.*, 2010). A redução em uma população pode influenciar a população de predadores (DAVID; KASER *et al.*, 2013), os mosquitos geralmente representam uma parte significativa da dieta de vários morcegos, aranhas e peixes generalistas, a redução dos mosquitos poderia reduzir a população desses predadores (REISKIND e WUND, 2009). “Isso pode causar efeitos comunitários em cascata, interrupção das redes alimentares e potencial perda de diversidade na comunidade afetada” (DAVID; KASER *et al.*, 2013).

DISCUSSÃO

A ciência e a tecnologia estão presentes em todos os setores da vida contemporânea, como também tem promovido profundas transformações sociais, culturais e econômicas (BRAGA e VALLE, 2007) (ROMERO-VIVAS; WHEELER e FALCONA,



2002). Neste cenário a biologia tem apresentado uma posição de destaque na área da ciência, principalmente nas áreas da Biologia Molecular e Genética com os organismos transgênicos. Por esse motivo é de grande importância que as pessoas sejam convocadas a refletir e a opinar sobre os benefícios, riscos e implicações éticas, morais e sociais provenientes das biotecnologias geradas pelas pesquisas. Todavia, um dos grandes problemas é que as informações que chegam as pessoas não permitem que elas se apropriem dos conhecimentos científicos de modo a compreendê-los, questioná-los e utilizá-los como instrumento do pensamento, é possível verificar que muitas vezes existem concepções intuitivas, grandemente influenciadas pela mídia, normalmente desprovidas do saber científico (ORTEGA; CAPRONI e ROZZATTI, 2011) (PEDRANCINI; CORAZZA-NUNES *et al.*, 2007).

Para o bem ou para o mal, "a trajetória é clara", a introdução de um gene que reduz a fertilidade dos mosquitos ou a sua capacidade de transmissão de um patógeno pode ser controlada? Isso é uma questão que precisa ser respondida. Se algo der errado, quem assumirá a responsabilidade? Como o dano pode ser reparado? Quem deve ter autoridade para introduzir essa tecnologia na natureza? Estamos falando de eliminar uma espécie ou mudar o seu comportamento.

Na revista *Science* em abril de 2015 um alerta foi dado por Valentino Gantz e Ethan Bier, da Universidade da Califórnia em San Diego. Em uma de suas pesquisas os cientistas modificaram um gene, chamado *yellow*, de um macho de *Drosophila melanogaster* e realizaram o cruzamento de um isento macho modificado com uma fêmea selvagem. A mutação ocorrida por causa desse gene alterou a coloração das moscas, que ficaram mais claras. Como o alelo era recessivo, as fêmeas geradas desse cruzamento deveriam ser selvagens, porém o alelo do macho alterou o alelo da fêmea, e todas as descendentes apresentaram uma coloração amarela, eliminando qualquer variação que existia no inseto, ou melhor, todos ficaram iguais. Se esses indivíduos fossem soltos no meio ambiente, todos os insetos selvagens da espécie *Drosophila melanogaster* agora teriam esse alelo, o problema é que não se sabe se essa mudança ocorreu em uma das regiões do genoma ou se inseriu em uma região não desejada do genoma (GANTZ e BIER, 2015).



Para Stewart os microrganismos que foram geneticamente melhorados têm a capacidade de reproduzir-se e se estabelecer como uma população persistente que pode apresentar efeitos sutis e de longo prazo nas comunidades biológicas e nos ecossistemas naturais (STEWART JR; RICHARDS e HALFHILL, 2000). As modificações do DNA podem não estar limitadas apenas às características do gene substituído. É importante que se tome certos cuidados para garantir que, quando esses mosquitos GMs sejam liberados na natureza, eles não prejudiquem o meio ambiente ou a saúde humana (ANDERSSON; BARTSCH *et al.*, 2006). Podemos destacar alguns riscos ambientais que provavelmente ocorrerão pelo uso de mosquitos GMs no campo, porque é de grande importância destacamos que cada gene pode controlar várias características diferentes em um único organismo.

A contaminação genética pode ser vista como uma realidade, quando introduzimos os mosquitos GMs em um habitat, esses mosquitos podem cruzar com parentes do tipo selvagem ou sexualmente compatíveis. Essas novas características podem desaparecer ou conferir uma vantagem seletiva ao destinatário, alterando o relacionamento e o comportamento ecológico das espécies nativas.

Os impactos do ecossistema ou os efeitos das mudanças em uma única espécie, podem se estender muito além do ecossistema. Impactos únicos são sempre associados ao risco de danos e destruição do ecossistema.

A falta de meios impossibilita o acompanhamento desses mosquitos GMs introduzidos no meio ambiente, com o surgimento de alguns problemas, será praticamente impossível eliminá-los.

A transferência Horizontal de Genes Recombinantes para outros microrganismos são um risco preocupante relacionado aos mosquitos GMs, a aquisição de genes estranhos por organismos é uma das várias situações ambientais. Isso pode ocorrer especialmente em resposta à mudança de um ambiente, fornecendo a outros organismos, especialmente os procariontes, que obtiveram uma proporção significativa de sua diversidade genética através da aquisição de genes sequências de diferentes organismos (OCHMAN; LAWRENCE e GROISMAN , 2000) (MARTIN,



1999), isso pode conferir uma nova característica em outro organismo, que pode ser uma fonte de dano potencial à saúde das pessoas ou do meio ambiente (BENNETT; LIVESEY *et al.*, 2004). Seria um grande erro supor que genes recombinantes em um organismo não se espalhem para em outros organismos.

Os efeitos em longo prazo do impacto da transferência Horizontal de Genes Recombinantes podem ser relativamente forte, isso pode levar milhares de gerações para que um organismo receptor se torne a forma dominante em uma população. Além disso, outros fatores podem ajudar. Como o momento adequado das condições ambientais bióticas ou abióticas e alterações adicionais no organismo receptor, podem atrasar os efeitos adversos (NIELSEN e TOWNSEND , 2004). Várias evidências científicas vêm surgido nos últimos anos sobre os organismos geneticamente modificados, mostrando que existem vários riscos claros para a saúde humana e o meio ambiente. Quando os engenheiros genéticos criam um organismo transgênico eles não têm como determinar o local específico que vai inserir o gene. O gene acaba em uma localização aleatória no material genético, e sua posição geralmente não é identificada (CRAIG; TEPFER *et al.*, 2009) (LABRA; SAVINI *et al.*, 2001).

CONCLUSÃO

Os pesquisadores vêm desenvolvendo a uma velocidade incrível as técnicas de modificação genética e com isso permitindo que se encontrem genes que possam controlar características particulares de um organismo. Separando esses genes da fonte original e os transferindo diretamente para as células de um animal, planta, bactéria ou vírus, oferecendo uma possibilidade empolgante para o avanço no gerenciamento global de pragas e doenças, no entanto, a introdução desses seres geneticamente modificados no meio ambiente, podem trazer consequências ambientais e ecológicas. É de grande importância avaliar rigorosamente os possíveis riscos associados, fornecendo meios e estruturas para identificar possíveis efeitos ecológicos na evolução da resistência, imunidade e mudanças transitórias nas interações das espécies de insetos geneticamente modificados. O uso dos organismos geneticamente modificados é de grande importância para atender as crescentes demandas existentes em nosso planeta, estamos vivendo um momento



de ansiedade onde queremos resolver os problemas, por um lado somos confortados com ameaças a saúde e ao meio ambiente humano, por outro lado, vemos novas alternativas de mudar a maneira como as coisas são, por isso necessitamos de métodos de monitoramento e detecção vitais para avaliar e gerenciar os riscos do uso de organismos geneticamente modificados. A disseminação desses mosquitos transgênicos, cujos efeitos, particularmente sobre os componentes da biodiversidade são difíceis de estimar e pior, podem se irreversíveis, causando a exposição de espécies a novos patógenos ou agentes tóxicos, eliminação de espécies não domesticadas, geração de superpragas ou poluição genética entre outros. Tendo em vista que essas transformações ou modificações de seres vivos em laboratórios são técnicas novas e que até o momento é impossível saber quais serão as consequências em longo prazo. E frente ao desafio de encontrar novas alternativas de controlar um patógeno, os cientistas vem esquecendo-se de uma coisa, a vida sempre vai achar um caminho para se adaptar.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADELMAN, Z. N. et al. RNA Silencing of Dengue Virus Type 2 Replication in Transformed C6/36 Mosquito Cells Transcribing an Inverted-Repeat RNA Derived from the Virus Genome. **JOURNAL OF VIROLOGY**, Dec. 2002, p. 12925–12933, v. 76, n. 24, p. 12925–12933, Dec. 2002.

ALPHEY,. Re-engineering the sterile insect technique. **Insect Biochem Mol Biol**. 2002 Oct;32(10):1243-7., v. 32, n. 10, p. 1243-1247, Oct. 2002.

ALPHEY, L. et al. Sterile-Insect Methods for Control of Mosquito-Borne Diseases: An Analysis. **Vector Borne Zoonotic Dis.**, v. 10, n. 3, p. 295-311, Apr. 2010.

ANDERSON, S. H. et al. Cascading Effects of Bird Functional Extinction Reduce Pollination and Plant Density. **Science**, v. 331, p. 1068–1071, 2011.

ANDERSSON, C. et al. Guidance document of the scientific panel on genetically modified organisms for the risk assessment of genetically modified microorganisms



and their derived products intended for food and feed use. **Efsa Journal**, v. 374, p. 1-115, 2006.

ANDRADE, P. P. D. et al. Use of transgenic Aedes aegypti in Brazil: risk perception and assessment. **Bulletin of the World Health Organization; Type: Policy & practice**, p. 1-13, 31 August 2016.

ARAÚJO, H. R. C. et al. Aedes aegypti Control Strategies in Brazil: Incorporation of New Technologies to Overcome the Persistence of Dengue Epidemics. **Insects.**, v. 6, n. 2, p. 576-594, Jun 2015.

BARBIERI , J. C. DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE: AS ESTRATÉGIAS DE MUDANÇAS DA AGENDA 21. **RAE - Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 38, n. 2, p. 74-76, Abr./Jun. 1998.

BEISNER, B. E.; HAYDON, D. T.; CUDDINGTON, . Alternative stable states in ecology. **Front Ecol Environ** , v. 1, n. 7, p. 376–382, 2003.

BENNETT, P. M. et al. An assessment of the risks associated with the use of antibiotic resistance genes in genetically modified plants: report of the Working Party of the British Society for Antimicrobial Chemotherapy. **Journal of Antimicrobial Chemotherapy**, v. 53, n. 3, p. 418–431, March 2004.

BRAGA, I. A.; VALLE, D. Aedes aegypti: histórico do controle no Brasil. **Epidemiologia e Serviços de Saúde** , v. 16, n. 2, p. 113-118, 2007.

CARROLL, S. P. et al. And the beak shall inherit - evolution in response to invasion. **evolution in response to invasion. Ecology Letters**, v. 8, n. 9, p. 944-951, 2005.

COHUET, et al. Evolutionary forces on Anopheles: what makes a malaria vector? **Trends Parasitology**, v. 26, n. 3, p. 130-136, 01 MARCH 2010.

COLLINS, F. H.; JAMES, A. A. Modificação genética de mosquitos. **Ciência e Medicina : Volume 3 Número 6 : Página 52 (dezembro de 1996)**, v. 3, n. 6, p. 52, Dezembro 1996.



CRAIG, et al. An overview of general features of risk assessments of genetically modified crops. **Euphytica**, v. 164, p. 853-880, 2009.

CRAWFORD, A. J.; LIPS, K. R.; BIRMINGHAM,. Epidemic disease decimates amphibian abundance, species diversity, and evolutionary history in the highlands of central Panama. **Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, v. 107, n. 31, p. 13777–13782, 3 August 2010.

DAVID, A. S. et al. Liberação de insetos geneticamente modificados: uma estrutura para identificar potenciais efeitos ecológicos. **Ecology and Evolution**, v. 3, n. 11, p. 4000-4015., out 2013.

DONOVAN, M. J. Genetically Modified Insects: Why Do We Need Them and How. **Journal of Environmental and Sustainability Law Will They Be Regulated?**, v. 17, n. 1, p. 62-107, 2009.

FACON, B. et al. Can things get worse when an invasive species hybridizes? The harlequin ladybird *Harmonia axyridis* in France as a case study. **Evolutionary Applications**, v. 4, p. 71-88, 2011.

FARIAS,. Uma perspectiva constitucional do conceito de meio ambiente. **Consultor Jurídico**, 7 outubro 2017. Disponível em: <<https://www.conjur.com.br/2017-out-07/ambiente-jurídico-perspectiva-constitucional-conceito-meio-ambiente>>. Acesso em: 11 Fevereiro 2020.

GANTZ, V. M.; BIER, E. The mutagenic chain reaction: A method for converting heterozygous to homozygous mutations. **SCIENCE**, v. 348, n. 6233, p. 442-444, 24 APRIL 2015.

GOULD , F.; SCHLIEKELMAN,. Population Genetics of Autocidal Control and Strain Replacement. **Annu Rev Entomol**, v. 49, p. 193-217, 2004.

HOY, J. B. EXPERIMENTAL MASS-REARING OF THE MOSQUITOFISH, GAMBU SI A AFFI NI S. J. Av. Mosq. CoNrrrol Assoc, v. 1, n. 3, p. 295-298, September 1985.



JUNIOR , R. D. D. S. **A Sustentabilidade Como Híbrido: Um Diálogo Entre Ecologia, Sociologia e Antropologia.** Universidade Estadual de Campinas. Campinas, p. 1-18. 2013.

KENIS, et al. Ecological effects of invasive alien insects. **Biol. Invasions** , v. 11, p. 21-45, 2009.

KWEKA, E. J.; KIMARO, E. E.; MUNGA,. Effect of Deforestation and Land Use Changes on Mosquito Productivity and Development in Western Kenya Highlands: Implication for Malaria Risk. **Frontiers in Public Health**, v. 4, p. 1-9, 26 October 2016.

LABRA, M. et al. Genomic changes in transgenic rice (*Oryza sativa L.*) plants produced by infecting calli with *Agrobacterium tumefaciens*. **Plant Cell Reports** , v. 20, n. 4, p. 325-330, 2001.

LOURENÇO, A. F.; RODRIGUES, F. M. Doenças Transmitidas pelo *Aedes Aegypti* (Linnaeus, 1762) no Brasil nos Últimos Dez Anos. **Revistas pucgoias**, Goiânia, v. 44, p. 72-77, novembro 2017.

MARTIN, W. Mosaic bacterial chromosomes: a challenge en route to a tree of genomes. **BioEssays**, v. 21, n. 2, p. 99-104, 1999.

MAY , R. M.; NOWAK, M. A. Coinfection and the Evolution of Parasite Virulence. **Proc Biol Sci**, v. 261, p. 209-215, 1995.

MERCER, K. L.; WAINWRIGHT, J. D. Gene flow from transgenic maize to landraces in Mexico: An analysis. **Agriculture, Ecosystems and Environment** , v. 123, p. 109–115, 2008.

MYERS , N.; KNOLL, A. H. The biotic crisis and the future of evolution. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 98, n. 10, p. 5389-5392, 8 May 2001.

NEVES, D. P. et al. **Parasitologia Humana**. 11^a. ed. Teresina: Atheneu, 2005. 07-25 p. Disponível em: <<https://gpicursos.com/interagin/gestor/uploads/trabalhos->

RC: 63453

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/biologia/mosquito-transgenico>



feirahospitalariaui/5bbf097e27399cce54fad4d13040ae39.pdf>. Acesso em: 12 Fevereiro 2020.

NIELSEN, K. M.; TOWNSEND, J. P. Monitoring and modeling horizontal gene transfer. **Nature Biotechnology**, v. 22, n. 9, p. 1101-1114, 2004.

OCHMAN, ; LAWRENCE, J. G.; GROISMAN, E. A. Lateral gene transfer and the nature of bacterial innovation. **Nature**, v. 405, n. 6784, p. 299–304, 2000.

OLIVEIRA, S. D. L.; CARVALHO, D. O.; CAPURRO, M. L. Mosquito transgênico: do paper para a realidade. **Revista da Biologia**, v. 6b, p. 38-43, 2011.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. Avaliação das estratégias inovadoras para o controle de Aedes aegypti: desafios para a introdução e avaliação do impacto dessas, Washington, 2019. Disponível em: <http://iris.paho.org/xmlui/bitstream/handle/123456789/51374/9789275720967_por.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 Fevereiro 2020.

ORTEGA, C. A. ; CAPRONI, W. H.; ROZZATTI,. SOLUÇÃO GENÉTICA CONTRA DENGUE. **Unimep**, 08 Novembro 2011. Disponível em: <<http://www.unimep.br/phpg/mostraacademica/anais/9mostra/4/140.pdf>>. Acesso em: 14 Fevereiro 2020.

PEDRANCINI, V. D. et al. Ensino e aprendizagem de Biologia no ensino médio e a apropriação do saber científico e biotecnológico. **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 2, p. 299-309, 2007.

POST-PN-360. Genetically Modified Insects. **The Parliamentary Office of Science and Technology**, 01 June 2010. Disponível em: <<https://researchbriefings.parliament.uk/ResearchBriefing/Summary/POST-PN-360>>. Acesso em: 27 Fevereiro 2010.

PRAKASH, et al. Risks and Precautions of Genetically Modified Organisms. **International Scholarly Research Notices**, p. 1-14, 2011.



RANVESTEL, A. W. et al. Neotropical tadpoles influence stream benthos: Evidence for the ecological consequences of decline in amphibian populations. **Freshwater Biology**, v. 49, n. 3, p. 274-285, March 2004.

REISKIND , M. H.; WUND , M. A. Experimental assessment of the impacts of northern long-eared bats on ovipositing Culex (Diptera: Culicidae) mosquitoes. **J Med Entomol.** , v. 46, n. 5, p. 1037-1044, Sep. 2009.

ROMERO-VIVAS, C. M.; WHEELER , J. G.; FALCONA, A. K. An inexpensive intervention for the control of larval Aedes aegypti assessed by an improved method of surveillance and analysis. **J Am Mosq Control Assoc.** , v. 18, n. 1, p. 40-46, Mar 2002.

ROYAMA, T. Population Dynamics of the Spruce Budworm Choristoneura Fumiferana. **Ecological Monographs**, v. 54, n. 4, p. 429-462, February 1984.

SACCARO JUNIOR, N. L.; MATION, L. F.; SAKOWSKI, P. A.. IMPACTO DO DESMATAMENTO SOBRE A INCIDÊNCIA DE DOENÇAS NA AMAZÔNIA. **Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – ipea**, p. 01-38, 2015.

SANTOS, D. C. M. D. et al. INTERAÇÃO UNIVERSIDADE-ESCOLA: USO DE JOGOS DIDÁTICOS PARA CONHECER E PREVENIR O Aedes aegypti. **Revista Eletrônica Extensão & Sociedade - PROEX/UFRN**, v. 8, n. 1, p. 57-68, 2017.

SCHMIDT, R. A. C. A questão ambiental na promoção da saúde: uma oportunidade de ação multiprofissional sobre doenças emergentes. **Physis: Revista de Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 02, p. 373-392, 2007.

SLATKIN, M. Gene Flow in Natural Populations. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 16, p. 393-430, November 1985.

SNYDER, W. E.; EVANS, E. W. Ecological Effects of Invasive Arthropod Generalist Predators. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, n. 37, p. 95-122, 12 December 2006.



STEWART JR, C. N.; RICHARDS, H. A.; HALFHILL, M. D. Transgenic plants and biosafety: science, misconceptions and public perceptions. **BioTechniques**, v. 29, n. 4, p. 832-843, October 2000.

TAIPE-LAGOS, C. B.; NATAL,. Abundância de culicídeos em área metropolitana preservada e suas implicações epidemiológicas. **Revista de Saúde Pública**, v. 37, n. 3, p. 275-279, 2003.

TERENIUS, et al. Molecular Genetic Manipulation of Vector Mosquitoes. **Cell Host Microbe**. 2008 Nov 13; 4(5): 417–423., v. 4, n. 5, p. 417–423., 13 Nov 2008.

TSETSARKIN, K. A.; WEAVER, S. C. Sequential Adaptive Mutations Enhance Efficient Vector Switching by Chikungunya Virus and Its Epidemic Emergence. **PLoS Pathogens**, v. 7, n. 12, p. 1-15, December 2011.

UJVARI, S. C. **A História e Suas Epidemias - A Convivência do Homem com os Microorganismos**. São Paulo: Senac, 2003.

VEIGA, C. Desmatamento provoca surto de febre amarela no Brasil. **Diálogo Chino**, 10 Fevereiro 2017. Disponível em: <<https://dialogochino.net/8488-deforestation-sparks-yellow-fever-outbreak-in-brazil/>>. Acesso em: 12 Fevereiro 2020.

WHITTEMORE, A. T.; SCHAAAL, B. A. Interspecific gene flow in sympatric oaks. **Proc.Nati.Acad.Sci.USA**, v. 88, p. 2540-2544, March 1991.

WILKE, A. B. et al. Controle de vetores utilizando mosquitos geneticamente modificados. **Rev Saúde Pública**, v. 43, n. 5, p. 869-874, 2009.

WISE DE VALDEZ, M. R. et al. Genetic elimination of dengue vector mosquitoes. **Proc Natl Acad Sci U S A** , v. 108, n. 12, p. 4772-4775, 22 Mar. 2011.

ZARA, A. L. D. S. A. et al. Estratégias de controle do Aedes aegypti: uma revisão. **Epidemiol. Serv. Saude**, Brasília, v. 25, n. 2, p. 391-404, abr-jun 2016.

Enviado: Maio, 2020.



MULTIDISCIPLINARY SCIENTIFIC JOURNAL

**NÚCLEO DO
CONHECIMENTO**

REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR NÚCLEO DO

CONHECIMENTO ISSN: 2448-0959

<https://www.nucleodoconhecimento.com.br>

Aprovado: Outubro, 2020.

RC: 63453

Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/biologia/mosquito-transgenico>