



(Foto: Appolinary Kalashnikova/Unsplash. Reprodução)

As ciências básicas, entre elas a Matemática, são essenciais para se alcançar o desenvolvimento sustentável.

Como a Matemática pode ajudar a resolver os desafios globais?

A matemática desempenha um papel crucial na previsão de fenômenos e na formulação de políticas públicas diante de emergências globais

* Jaqueline G. Mesquita

Resumo

A matemática desempenha um papel crucial na previsão de fenômenos e na formulação de políticas públicas diante de emergências globais. Exemplos notáveis incluem seu uso durante a pandemia da Covid-19 e na investigação de mudanças climáticas. Essa importância ressalta a necessidade de um diálogo mais amplo entre as áreas do conhecimento e de investimentos na qualidade da educação básica em matemática. Este artigo investiga o papel central da matemática nesse contexto, buscando promover um futuro mais sustentável para o planeta e ajudar a trazer respostas aos desafios globais das próximas décadas.

Palavras-chave: Covid-19; Mudanças Climáticas; Modelos Matemáticos.

Sabemos que muitos desafios importantes para a humanidade estão por vir nos próximos anos. Enfrentamos o auge da pandemia da Covid-19, nos anos de 2020 e 2021, e uma boa parte ainda em 2022, com as ondas de contágios oscilando bastante. Esse foi um período muito difícil para todas as pessoas que o vivenciaram. Muitas vidas foram perdidas, as pessoas tiveram de ficar isoladas para proteger umas às outras e o número de mortes, apesar dos esforços, foi bastante significativo, marcando um período histórico para a humanidade. Ainda não conseguimos mensurar todos os danos, perdas, nem as consequências advindas dessa fase, isso tudo será apenas refletido nos anos vindouros. Porém, sabe-se que as consequências poderiam ter sido ainda mais catastróficas se não fosse a solução apresentada pelos cientistas de todo o mundo em tempo recorde, trazendo uma vacina eficiente para proteger a população.

A ciência confirmou mais uma vez o seu papel fundamental, tendo sido a matemática uma das protagonistas neste desafio. Os modelos matemáticos desenvolvidos durante este período permitiram prever as diferentes ondas de contágio da Covid-19, além de terem sido importantes norteadores para as tomadas de decisão dos governantes de diferentes países, com relação às medidas que deveriam ser adotadas naquele momento. Além disso, cabe destacar que foi a matemática que permitiu compreender a dose que deveria ser dada em cada vacina e o melhor espaçamento

entre as doses, para otimizar a aplicação e, assim, garantir uma maior proteção a todos.

Apesar de o grande alívio de termos superado o período da emergência global da Covid-19, as previsões dos cientistas para o futuro não são nada otimistas. Acredita-se que outras pandemias estão por vir, devido ao desmatamento desenfreado das nossas florestas, aos cenários de mudanças climáticas, ao aquecimento global, dentre outros fatores.

Em 2015, uma reunião com todos os estados-membros das Nações Unidas definiu a chamada *Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável*, visando trazer metas importantes para serem cumpridas em prol da harmonia, paz e prosperidade do planeta Terra, no presente e no futuro. Visando isso foram destacados 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), considerados urgentes para que todos os países, desenvolvidos e em desenvolvimento, pudessem se unir para tentar trazer respostas rápidas nesta direção. Portanto, nesse momento de desafios globais, é necessário que as diferentes áreas do conhecimento dialoguem, maximizando os esforços e as descobertas, pois a interdisciplinaridade nunca foi tão importante e necessária.

Nesse cenário, uma pergunta que surge é: *“onde a matemática se encaixa em tudo isso?”*. Essa é a grande questão que queremos discutir neste artigo, bem como mostrar que a matemática será uma das protagonistas nesse cenário. Sem o desenvolvimento matemático, não conseguiremos ir muito longe, pois são os modelos matemáticos que servirão de

“Os modelos matemáticos desenvolvidos durante este período permitiram prever as diferentes ondas de contágio da Covid-19, além de terem sido importantes norteadores para as tomadas de decisão dos governantes de diferentes países, com relação às medidas que deveriam ser adotadas naquele momento.”

norteadores para as tomadas de decisão neste período difícil que iremos enfrentar. Apesar de todo este protagonismo da matemática, não parece tão óbvio assim para a população em geral a sua importância e o seu papel essencial na resposta às grandes questões emergentes.

A matemática, com sua linguagem própria e abstrata, pode parecer distante e sem uma aplicação imediata em nossa sociedade, o que leva muitos a questionarem sua importância nas principais descobertas da humanidade. Em uma sociedade que busca respostas rápidas e é constantemente estimulada, essa característica da matemática e das ciências básicas pode gerar certa ansiedade. No entanto, nem sempre foi assim.

Na Antiguidade, muitas perguntas fundamentais na Matemática eram feitas e o fato de não ter uma aplicação imediata não era visto como um problema, mas considerava-se importante explorar este conhecimento para a construção do todo. Um exemplo disso pode ser visto no entendimento dos números: não se enxergava

uma aplicação direta em se aprofundar no estudo dos números irracionais ou no estudo dos números complexos. Mesmo assim, era extremamente incentivado pelos pensadores daquela época. Hoje sabe-se que os números complexos possuem diversas aplicações no estudo de fluxo de fluidos que permite uma melhor compreensão do comportamento aerodinâmico em automóveis e aeronaves, bem como na mecânica quântica, investigando as propriedades dos átomos e de certas moléculas [1]. Da mesma forma, os números irracionais têm também muitas aplicações interessantes, como é o caso do famoso número Pi, que aparece quando tentamos calcular a área do círculo, e que permitiu diversos avanços.

Ao longo do tempo, a ciência básica muitas vezes foi percebida como menos “importante” devido à ausência de respostas imediatas e aplicações diretas. No entanto, é importante destacar que avanços científicos básicos têm

desempenhado papéis cruciais em situações concretas. Um exemplo é o desenvolvimento das vacinas contra a Covid-19, que foi possível graças às pesquisas científicas básicas. Além disso, se você está lendo este artigo em um computador, saiba que isso só é possível devido aos avanços na área da matemática. Sem ela, nem mesmo a existência de computadores ou da internet seria possível. Esses exemplos são apenas a ponta do iceberg, pois a ciência básica tem um impacto muito mais amplo e profundo em nossa sociedade (Figura 1).

Algo que prezamos diariamente é a nossa privacidade e isso está intimamente relacionado a garantir a segurança dos nossos dados, desde o segredo da fechadura da porta da nossa casa até a senha do nosso cartão do banco. Para garantir a segurança desses dados, foi necessário desenvolver uma área da matemática conhecida como Criptografia, que está

intimamente relacionada com a Teoria dos Números e aos chamados números primos.

Parece incrível que aquele conteúdo que você aprendeu no seu ensino médio ou fundamental possa servir para tanta coisa, mas sim. E os exemplos não param por aí. Uma simples ida ao supermercado já é suficiente para você ter que usar muito do seu conhecimento matemático. Note que desde o momento em que você entra no supermercado e precisa avaliar se você vai escolher uma cesta ou um carrinho para colocar suas compras, você já exercita o seu pensamento geométrico, depois é necessário mais matemática quando você reflete se uma certa promoção ou desconto realmente vale a pena, ainda tem o momento em que você irá pagar as suas compras, e nesse está claro a necessidade de refletir se a quantidade de dinheiro que você tem disponível será suficiente ou não para você pagar as suas compras.

Tudo isso traz apenas um pequeno esboço do quanto a matemática é importante para a nossa vida cotidiana e para realizar qualquer atividade. No entanto, neste artigo, vamos explorar como a matemática pode nos ajudar a resolver os desafios globais que enfrentamos atualmente e que continuaremos a enfrentar nas próximas décadas. Essa é uma pergunta crucial não apenas neste artigo, mas também durante todo o ano de 2023, cuja temática instituída pela Organização das Nações Unidas (ONU) e pela Unesco foi “Ciências Básicas para o Desenvolvimento Sustentável”. Nesse contexto mais amplo, buscamos compreender o papel



(Foto: Pedro Vilela/Getty Images. Reprodução)

Figura 1. O desenvolvimento das vacinas contra a Covid-19 foi possível graças às pesquisas científicas básicas.

da matemática na abordagem desses desafios e na construção de um futuro mais sustentável.

Em 2022, um estudo pioneiro intitulado “*Mathematics for Action: Supporting Science-Based Decision-Making*” [2], publicado pela Unesco (Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura), lançou um alerta sobre a importância da matemática no cenário atual em que buscamos o desenvolvimento sustentável e nos esforçamos para alcançar os objetivos da Agenda 2030. Este estudo, que contou com a colaboração de diversos especialistas, ressaltou o papel fundamental da matemática na resolução dos desafios globais que enfrentamos e destacou a necessidade de incluir matemáticos nas equipes de tomada de decisão governamentais. O documento reforçou o protagonismo da matemática como uma ferramenta essencial para enfrentar os problemas complexos do mundo atual.

O estudo ressalta a importância do acesso à água potável confiável e segura, fundamental para garantir a saúde, a agricultura, o saneamento básico e a higiene. A Organização Mundial da Saúde (OMS) desempenha um papel crucial na promoção da segurança da água, estabelecendo diretrizes de qualidade com base na identificação e no gerenciamento de riscos em todas as etapas, desde a captação até o consumo. Nesse processo complexo, por meio do Teorema de Bayes, a matemática permite a quantificação de riscos e a identificação de opções adequadas para a gestão do abastecimento e da

qualidade da água. A aplicação desse teorema possibilita uma abordagem embasada e precisa na avaliação e no controle dos riscos relacionados à água, contribuindo para a tomada de decisões informadas e eficazes nesse importante aspecto da vida humana (Figura 2).

Além disso, abordagens baseadas no Teorema de Bayes podem fornecer estimativas de probabilidade diante da incerteza, apoiando decisões mais bem informadas no governo e nas políticas públicas. Esses métodos não se limitam apenas ao estudo da água, mas são amplamente utilizados em diversas áreas do conhecimento, como medicina, biologia, direito, ecologia, dentre outros.

Outra preocupação que se destaca como um dos grandes desafios globais atuais é a questão dos ecossistemas. Nas últimas décadas, a atividade humana tem modificado de maneira significativa os ecossistemas para atender às crescentes demandas por alimentos, fibras e combustíveis. Embora os custos totais da perda

e degradação dos ecossistemas sejam difíceis de mensurar, eles são provavelmente substanciais e crescentes.

Para reverter essa perda e mitigar as consequências da degradação, é necessário que as motivações de desenvolvimento econômico dos formuladores de políticas incluam um objetivo de conservação, que deve ser incorporado em todas as tomadas de decisão. Nesse contexto, a matemática desempenha um papel fundamental, atuando como protagonista ao orientar essas decisões. As ferramentas matemáticas permitem projetar e aprimorar instrumentos para medir e quantificar os serviços ecossistêmicos, explorar cenários hipotéticos e fornecer conhecimento e informações alinhados com os objetivos do desenvolvimento sustentável.

As mudanças climáticas causadas pela atividade humana têm provocado transformações rápidas, dramáticas e sem precedentes em nosso planeta. Nenhum país ou cidade está imune aos impactos dessas mudanças no clima, na saúde



(Foto: Arquivo/Agência Brasil. Reprodução)

Figura 2. A matemática permite a quantificação de riscos e a identificação de opções adequadas para a gestão do abastecimento e da qualidade da água.

humana e na sociedade como um todo. No entanto, países com menor poder econômico possuem uma capacidade limitada de se adaptar a esses impactos e responder aos danos causados. Apesar desse cenário desafiador, ferramentas, métodos e teorias matemáticas estão desempenhando um papel fundamental ao ajudar os cientistas a compreender como as influências naturais e artificiais afetam o clima da Terra e a propor medidas eficazes para o futuro.

Um exemplo notável é o uso de modelos matemáticos de balanço de energia para estimar a temperatura da superfície terrestre com base nas mudanças na quantidade de energia que entra e sai do sistema climático [3,4]. Esses modelos permitem que os cientistas testem como a temperatura da superfície terrestre responde a mudanças hipotéticas, sejam elas de origem natural ou causadas pela atividade humana. Essa capacidade de previsão é de extrema importância, pois o aumento da temperatura pode acelerar o derretimento das geleiras e o consequente aumento do nível do mar, colocando em risco cidades e até mesmo países inteiros. Além disso, o aquecimento global

“Ferramentas, métodos e teorias matemáticas estão desempenhando um papel fundamental ao ajudar os cientistas a compreender como as influências naturais e artificiais afetam o clima da Terra e a propor medidas eficazes para o futuro.”

desenfreado também aumenta o risco de surgimento de novas epidemias. Portanto, a precisão dos modelos matemáticos que descrevem esse cenário é fundamental, exigindo o desenvolvimento contínuo de técnicas avançadas de matemática.

Outra complexidade que impulsiona o rápido desenvolvimento da matemática está na modelagem do sistema climático terrestre. Esse sistema não pode ser simplesmente analisado como um conjunto de partes isoladas, mas sim como um sistema global de interações complexas entre seus componentes. Essa abordagem torna a modelagem mais desafiadora, pois requer a consideração de todos os impactos das diversas variáveis presentes no sistema.

Diante desses desafios, a matemática desempenha um papel crucial ao fornecer ferramentas e técnicas avançadas para melhorar nossa compreensão do clima, prever seus efeitos e propor estratégias eficazes para lidar com as mudanças climáticas. O desenvolvimento contínuo da matemática nessa área é essencial para enfrentarmos os desafios globais do clima e garantir um futuro sustentável para as gerações futuras.

Por exemplo, ao introduzir variáveis adicionais em modelos matemáticos descritos por equações diferenciais, como os “retardos”, é possível obter resultados mais precisos. Essa abordagem permite descrever com maior exatidão fenômenos que não ocorrem instantaneamente, mas possuem um intervalo de tempo entre a causa e o

feito. No entanto, a inclusão desses “retardos” na equação modifica significativamente o comportamento da solução e requer o uso de técnicas matemáticas avançadas para lidar com o novo modelo.

Outro aspecto importante que pode ser adicionado às equações para aumentar a precisão são os “operadores de impulsos”. Embora do ponto de vista matemático sejam considerados descontinuidades na equação, eles são usados para descrever mudanças abruptas que ocorrem no estado de um determinado sistema, como terremotos, furacões e outros eventos naturais.

Além disso, os modelos climáticos utilizam expressões matemáticas para simular a interação de energia e matéria nos diferentes componentes do sistema climático terrestre: atmosfera, oceanos, biosfera e regiões terrestres e cobertas de gelo. Isso torna os modelos ainda mais complexos [4-6]. A matemática pode oferecer desde modelos simples até modelos avançados de sistemas terrestres, que requerem o uso de supercomputadores para sua execução, dependendo do objetivo do estudo.

Como consequência, os cientistas utilizam os resultados desses modelos para projetar as condições climáticas futuras em diferentes cenários, fornecendo informações robustas aos governos e formuladores de políticas para avaliar e implementar estratégias de mitigação e adaptação. Com cada vez mais detalhes e precisão, os resultados dos modelos fornecem subsídios para tomadas de decisões relevantes em políticas

específicas para cada região. Essas informações permitem que os países ampliem e acelerem suas atividades de adaptação e redução do risco de desastres.

A previsão antecipada e precisa dos ciclones tropicais é de extrema importância para salvar vidas e reduzir danos. Embora os avanços nos modelos matemáticos e na coleta de dados em tempo real tenham melhorado, as previsões da trajetória desses fenômenos devastadores e de sua intensidade ainda são um desafio significativo. No entanto, a compreensão matemática dos complexos mecanismos físicos envolvidos pode desempenhar um papel crucial na melhoria das previsões em tempo real, permitindo medidas preventivas e ações de mitigação mais eficazes. A matemática desempenha um papel fundamental na prevenção de catástrofes relacionadas a ciclones tropicais, capacitando-nos a antecipar e responder com maior precisão a esses eventos destrutivos.

Outra pergunta que ainda se mantém em aberto e precisa de maior desenvolvimento matemático e de ferramentas computacionais está relacionada às previsões dos terremotos. Apesar de todo o avanço feito nas últimas décadas, ainda não conseguimos prever quando acontecerá um terremoto com uma boa antecedência para se evitar mortes, tragédia e outros danos.

É importante nos atentarmos que não podemos apenas pensar na matemática de ponta, feita pelos cientistas nas universidades, nos seus laboratórios e em empresas, mas também na base e na formação da nossa população como um todo. Precisamos trazer uma

alfabetização matemática para as pessoas, motivá-las e mostrar a beleza e a importância da matemática para a sua qualidade de vida. Existe muito estereótipo por trás desta disciplina, que é muito danoso e que acaba afastando a nossa população do interesse na matemática.

Em 2010, a agência de pesquisa britânica *Engineering and Physical Sciences Research Council* (EPSRC) revelou que a matemática é responsável por 16% da economia do Reino Unido, um dado impressionante. Estudos semelhantes na França, Holanda e Austrália também destacaram o papel central da matemática em suas economias [6].

Portanto, se realmente desejamos enfrentar os desafios globais, não devemos apenas focar na pesquisa avançada, mas fundamentalmente na educação básica em matemática. É crucial proporcionar uma formação de qualidade desde cedo, despertando o interesse dos jovens por essa disciplina.

Embora já tenhamos progredido bastante, ainda há um longo caminho pela frente. A matemática tem muito a nos oferecer, e isso pode ser alcançado de maneira mais eficaz se houver um diálogo mais estreito entre ela e outras áreas da ciência, e vice-versa. A matemática já está presente em nosso cotidiano e em tudo que fazemos, mesmo que nem sempre percebamos, afinal, ela está em tudo.

“Precisamos trazer uma alfabetização matemática para as pessoas, motivá-las e mostrar a beleza e a importância da matemática para a sua qualidade de vida.”

* Jaqueline G. Mesquita é professora do Departamento de Matemática da Universidade de Brasília (UnB) e vice-presidente da Sociedade Brasileira de Matemática (SBM). Integra o comitê executivo da The World Academy of Sciences (TWAS) Young Affiliate Network e é embaixadora do Committee for Women in Mathematics da International Mathematics Union (IMU). Foi a ganhadora pela América do Sul, Central e Região do Caribe do “Science, She Says!” Award, concedido pelo Ministério das Relações Exteriores e Cooperação Internacional italiano (2023), e vencedora na categoria de matemática do prêmio “Para Mulheres na Ciência” concedido pela L’Oreal-Unesco-ABC (2019).

Referências

1. SOUZA, A. R.; MARQUES, E. M. R. O que é, o que é? *Revista Pesquisa Fapesp*, São Paulo, ed. 190, 2011.
2. VIANA, M. Matemática contribui com 18% do PIB da França. *Jornal Folha de S. Paulo*, São Paulo, 20 set. 2022.
3. KAPER, H.; ENGLER, H. *Mathematics and Climate*. Philadelphia: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM), 2013.
4. DHERSIN, J. S.; KAPER, H.; NDIFON, W.; ROBERTS, F.; ROUSSEAU, C.; ZIEGLER G. M. *Mathematics for action: supporting science-based decision-making*. Paris: Unesco, 2022.
5. CULLEN, M. *The mathematics of large-scale atmosphere and ocean*. Singapore: World Scientific Press, 2021.
6. CULLEN, M.; GANGBO, W.; SEDJRO, M. A mathematically rigorous analysis of forced axisymmetric flows in the atmosphere. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, London, vol. 141, n. 690, 2015.