



Denise Andrade do Nascimento^{1,2#} , Nelson Hugo Alves de Albuquerque¹, Maria Helena Cantuário Alves², Paulo Victor Santos Souza³ 

¹Departamento de Física, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR, Brasil.

²Mestrado Profissional em Ensino de Física - Polo 38, Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, RR, Brasil.

³Instituto Federal do Rio de Janeiro, Campus Volta Redonda, RJ, Brasil.

Palavras-chave

ensino de física
sistemas complexos
simulação computacional
interdisciplinaridade

Resumo

Pensar o ensino de física a partir da perspectiva da complexidade é reconhecer que os fenômenos do mundo real não se explicam apenas por meio de relações lineares e previsíveis. Eles envolvem múltiplas interações, comportamentos emergentes e contextos dinâmicos que demandam uma abordagem mais integrada e crítica. Nesse sentido, propomos o uso do software NetLogo como ferramenta pedagógica para incorporar a teoria dos sistemas complexos ao ensino de física na educação básica, focando na análise do tráfego urbano como sistema adaptativo complexo. Por meio da simulação *Traffic Basic*, o trânsito é explorado como um sistema onde decisões individuais dos motoristas geram padrões coletivos emergentes, como congestionamentos ou fluidez no tráfego. A análise fundamenta-se em conceitos da cinemática (posição, velocidade, aceleração), permitindo que estudantes visualizem como interações locais produzem efeitos globais. A metodologia utiliza modelagem baseada em agentes para explorar princípios da complexidade, como auto-organização, emergência, não linearidade e sensibilidade às condições iniciais. A experiência demonstra que os simuladores, enquanto tecnologias educacionais, contribuem para superar o modelo tradicional de ensino de física, promovendo uma aprendizagem mais reflexiva e ativa.

1. O ensino de física na perspectiva da complexidade

O ensino de física na educação básica ainda se apoia, predominantemente, em uma abordagem tradicional, centrada na memorização de fórmulas e na resolução mecânica de exercícios. Essa perspectiva apresenta o conhecimento científico de forma fragmentada e descontextualizada, como um conjunto de regras a se-

rem aplicadas para se chegar a respostas únicas e exatas. Como destaca Moreira [1], essa abordagem não apenas falha em desenvolver o pensamento crítico, mas também contribui para o desinteresse dos estudantes pela física. Diante disso, torna-se evidente que esse modelo de ensino é insuficiente para lidar com os desafios do mundo contemporâneo, onde questões como a

#Autor de correspondência. E-mail: denise.nascimento@ufrr.br.

Este é um artigo de acesso livre sob licença Creative Commons



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>

sustentabilidade, as transformações tecnológicas e os avanços científicos exigem cidadãos cientificamente letrados [1, 2].

Vivemos em uma sociedade complexa, atravessada por fenômenos como as mudanças climáticas, as pandemias, os congestionamentos urbanos, a crise hídrica, a desinformação em redes sociais e tantas outras questões que não podem ser compreendidas por uma lógica simplificadora. Como destacado por Schneegans e Nair-Bedouel [3] em relatório recente da UNESCO, a crescente interconexão entre os fenômenos sociais, ambientais, tecnológicos e econômicos torna o letramento científico não apenas desejável, mas essencial. Em um mundo moldado por interações complexas, compreender os desafios contemporâneos e tomar decisões fundamentadas na ciência exige que os cidadãos sejam capazes de interpretar dados, avaliar evidências e reconhecer a natureza sistêmica dos problemas.

Neste cenário de desafios globais interconectados, Paulo [4] destaca que a atual crise climática, marcada pela perda de biodiversidade, aquecimento global, poluição e desigualdades sociais, é consequência direta de ações humanas insustentáveis. A autora aponta que a visão cartesiana, centrada no racionalismo, determinismo e fragmentação, já não é suficiente para compreender a complexidade dos problemas contemporâneos.

À luz dessas reflexões, é urgente repensar o currículo da educação básica, não no sentido de abandoná-lo, mas de reorientá-lo a partir de uma nova perspectiva: a da complexidade. Ensinar sob essa abordagem significa assumir que o conhecimento não é algo pronto e fechado, mas sim algo em construção, que envolve múltiplos pontos de vista, conexões entre saberes e abertura à dúvida. Como propõe Watanabe [5], ao considerar as dimensões da complexidade nos contextos da educação, do processo ensino-aprendizagem e da epistemologia, abre-se espaço para propostas de aulas mais abertas e dinâmicas. Watanabe aponta que os aspectos da complexidade, quando incorporados nas práticas escolares, têm potencial para aproximar o ensino das ciências das realidades dos estudantes, promovendo reflexões mais participativas e criativas baseadas em diferentes esferas do conhecimento: científica, cultural, política, econômica e cotidiana.

Desde os trabalhos pioneiros de Edward Lorenz com a teoria do caos [6], em 1963, a ciência da complexidade vem revolucionando a forma como compreendemos o mundo. Fenômenos que antes pareciam aleatórios ou caóticos passaram a ser vistos como sistemas complexos: sistemas dinâmicos, não-lineares, marcados por interações entre múltiplos elementos e pela emergência de comportamentos imprevisíveis.

Em um mundo moldado por interações complexas, compreender os desafios contemporâneos e tomar decisões fundamentadas na ciência exige que os cidadãos sejam capazes de interpretar dados, avaliar evidências e reconhecer a natureza sistêmica dos problemas

Mas afinal, o que é um sistema complexo? E como podemos reconhecer esse tipo de sistema no nosso cotidiano, ou, melhor ainda, abordá-lo em sala de aula?

Ao estudar os fenômenos da natureza é comum delimitarmos um recorte específico para observação, é isso que chamamos de sistema. Segundo Macau [7, p. 15], “um sistema é uma parte do universo que se escolhe observar ou analisar, separando-a do restante por meio de uma fronteira, muitas vezes imaginária”. Essa delimitação depende do foco de interesse: o sistema pode ser um relógio, o planeta Terra ou a atmosfera, por exemplo. E, dependendo do contexto, um sistema pode estar inserido em outro maior, como peças de um mesmo quebra-cabeça, conectados por relações de dependência mútua, formando uma estrutura organizada que pode ser observada, descrita e modelada.

Quando essas relações, também chamadas de interações, não seguem uma lógica simples ou previsível, estamos diante de um sistema complexo. Nesses casos, as interações entre os elementos são não lineares, o que significa que pequenas alterações podem gerar grandes efeitos, muitas vezes inesperados. Como resultado, surgem comportamentos emergentes que não dependem da ação isolada de um único elemento, mas sim das interações entre as partes do sistema [8].

Um exemplo clássico dessa complexidade pode ser observado em colônias de formigas. Individualmente, uma formiga possui um comportamento simples, baseado em estímulos locais [9, 10]. No entanto, quando interage com outras formigas, seguindo, por exemplo, rastros de feromônio, o grupo passa a agir de forma coordenada: constroem pontes vivas, distribuem tarefas e otimizam rotas de coleta de alimentos. Tudo isso sem a presença de um líder. Esse fenômeno é conhecido como auto-organização. Da mesma forma, ao observar bandos de pássaros voando em formação, percebemos como padrões coletivos organizados podem emergir a partir de regras simples seguidas por cada indivíduo. Esses sistemas se adaptam a mudanças no ambiente, ajustando-se de forma espontânea e dinâmica.

Outro exemplo é o trânsito urbano, Fig. 1. O tráfego de carros em uma cidade não pode ser explicado apenas pela soma dos comportamentos de cada motorista ao conduzir. A interação entre veículos, semáforos e condições da via gera engarrafamentos, gargalos e até fluidez, de forma imprevisível.

Neste sentido, a ciência da complexidade oferece uma abordagem promissora para o ensino de física. Oliveira [12, p. 34] destaca que “a complexidade, como uma nova perspectiva educacional, se faz necessária”, ressaltando sua importância no ensino para torná-lo



Figura 1 - Dinâmica de carros em uma via é um exemplo de sistema complexo [11].

mais significativo. Ao considerar a emergência de comportamentos coletivos, a não linearidade das interações e a auto-organização de sistemas, essa proposta permite que os estudantes compreendam a física como uma ferramenta para investigar o mundo real e não apenas como um conjunto de leis prontas. Esse olhar é especialmente poderoso no contexto educacional.

Para tornar essa abordagem mais concreta e acessível no contexto escolar, o uso de tecnologias educacionais vem se consolidando como um recurso estratégico. Simuladores computacionais, por exemplo, possibilitam que os alunos visualizem e interajam com fenômenos complexos de forma dinâmica. Dentre essas ferramentas, destaca-se o NetLogo, um ambiente de simulação baseado em agentes que permite modelar situações inspiradas na realidade, como o tráfego urbano, o comportamento coletivo de animais ou a propagação de doenças [13]. Sua aplicação nas aulas de física representa uma oportunidade de trabalhar conceitos contemporâneos de forma interdisciplinar e próxima do cotidiano dos estudantes.

O objetivo deste texto é, portanto, apresentar o NetLogo como uma ferramenta para o ensino de física e exemplificar seu potencial para o ensino por meio da análise de um modelo de tráfego que, à despeito de sua simplicidade, pode ser compreendido como um sistema complexo. Ademais, sugestões de seu uso são oferecidas.

2. O NetLogo

O NetLogo¹ é um ambiente de simulação que possibilita explorar e compreender fenômenos complexos de forma interativa e dinâmica. Com essa ferramenta, é possível ilustrar, na prática, como interações simples

entre indivíduos podem gerar padrões coletivos e comportamentos emergentes, tornando conceitos abstratos mais acessíveis e instigantes.

Criado em 1999 por Uri Wilensky [13], o NetLogo tem aplicação em diversas áreas do conhecimento, incluindo ciências naturais, como física, biologia e química, além de ciências sociais, como sociologia, economia e antropologia. Ele permite conectar conceitos escolares a situações reais do cotidiano, como o clima, a geração de energia, a propagação de epidemias ou o comportamento de populações.

Além disso, o NetLogo é gratuito e oferece a flexibilidade de ser acessado online ou instalado para uso offline. Sua comunidade ativa de usuários e desenvolvedores mantém a plataforma viva, disponibilizando tutoriais, modelos prontos e fóruns de discussão, o que incentiva a troca de ideias e o aprendizado colaborativo.

A Fig. 2 apresenta a página inicial da versão online, onde é possível explorar modelos prontos e criar simulações personalizadas para analisar a dinâmica de diversos fenômenos e sistemas.

O trânsito, por exemplo, é um sistema que pode ser

analisado de forma rica e significativa através do Netlogo. Ao tratar os engarrafamentos como um fenômeno complexo, por exemplo, é possível abordar grandezas da cinemática, como velocidade, aceleração e posição, enquanto os alunos analisam como as decisões individuais dos motoristas (como acelerar ou frear) impactam o comportamento coletivo.

A seguir, exploramos o uso do NetLogo para analisar o caso dos engarrafamentos, conectando a teoria da cinemática a situações do dia a dia. Essa abordagem vai além da mera resolução de problemas por meio das equações do movimento uniforme e

uniformemente variado, proporcionando uma conexão mais ampla com a realidade do tráfego.

3. Modelo Traffic Basic

A simulação *Traffic Basic*² (Tráfego Básico), Fig. 3, disponível na plataforma NetLogo, permite investigar o comportamento do tráfego em uma via única, por meio de um modelo baseado em agentes. Trazer o estudo do tráfego para a sala de aula permite que os alunos vejam como conceitos da física são aplicados em situações reais que eles vivenciam diariamente.

Essa abordagem está diretamente alinhada à Base Nacional Comum Curricular (BNCC) competência EM13CNT101, que orienta a análise e representação de transformações e variações em sistemas que envolvem matéria, energia e movimento, com ou sem o uso de simuladores [14]. Ao explorar essas relações por meio

Ao considerar a emergência de comportamentos coletivos, a não linearidade das interações e a auto-organização de sistemas, essa proposta permite que os estudantes compreendam a física como uma ferramenta para investigar o mundo real e não apenas como um conjunto de leis prontas. Esse olhar é especialmente poderoso no contexto educacional



[Home](#)
[Download](#)
[Ajuda](#)
[Recursos](#)
[Extensões](#)
[FAQ](#)
[Publicações NetLogo](#)
[Faça Conosco](#)
[Doe](#)

Modelos:
[Biblioteca](#)
[Comunidade](#)
[Modelagem Commons](#)

Iniciantes Dicionário
[NetLogo Interativo](#)
 (BIND)
[Dicionário NetLogo](#)

Manuais do Usuário:
[Imprimível](#)
[na Web](#) [Chinês](#) [Tcheco](#)
[Farsi](#) / [Persa](#) [Japonês](#)
[Espanhol](#)

([Introdução](#))
 ([Tutorial #1](#)) ([#2](#)) ([#3](#))
 ([Guia](#))
 ([Dicionário](#))

NetLogo é um ambiente de modelagem programável multi-agente. Ele é usado por muitas centenas de milhares de estudantes, professores e pesquisadores em todo o mundo. Ele também alimenta as simulações participativas [da HubNet](#). É de autoria de [Uri Wilensky](#) e desenvolvido no [CCL](#). Você pode baixá-lo gratuitamente. Você também pode experimentá-lo online através do [NetLogo Web](#).

Baixar NetLogo



Ir para NetLogo Web



Introdução ao NetLogo

Você é novo no NetLogo ou na programação em geral? Temos recursos para ajudá-lo

- Os **tutoriais do NetLogo** guiam você por todos os fundamentos, desde [carregar e usar modelos](#), até [interagir com modelos com código NetLogo](#) e, finalmente, [programar um modelo do zero](#).
- O **Dicionário NetLogo Interativo para Iniciantes** contém artigos e vídeos sobre tópicos introdutórios, incluindo uma [página de introdução](#). [Os vídeos](#) incluem vários exemplos de criação de modelos a partir do zero. Você também pode querer verificar ["O que é um primitivo?"](#) e ["Os primeiros 11 primitivos a serem aprendidos"](#), que permitem que você experimente interativamente os primitivos de código NetLogo à medida que aprende sobre eles.
- Também temos uma breve [introdução \(2 minutos\) ao vídeo NetLogo](#) que cobre os conceitos básicos e recursos do software.

Figura 2 - Interface da página inicial do NetLogo. Disponível em <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>, acesso em 10/2/2025.

da simulação, o aluno desenvolve a capacidade de prever e interpretar comportamentos de sistemas físicos, compreendendo a relação entre ações locais e efeitos globais. Para isso, é fundamental o desenvolvimento do raciocínio lógico, do pensamento computacional, e da curiosidade investigativa.

Observe que o modelo apresentado na [Fig. 3](#) é composto por três agentes principais (funções do simulador) que determinam sua dinâmica:

- Número de carros, ajustado para 20, define a quantidade de veículos presentes na via. Um maior número de carros aumenta a probabilidade de formação de congestionamentos e variações na velocidade média do tráfego;
- Parâmetro de aceleração (ajustado no modelo NetLogo, sem unidade física): representa a taxa com que os veículos aumentam sua velocidade ao encontrar a via livre, influenciando diretamente o tempo de deslocamento e a fluidez do trânsito;
- Parâmetro de desaceleração (também sem unidade física): ajustada para 0,001, representa a taxa com

que os veículos reduzem a velocidade ao se aproximarem de outros veículos, simulando o comportamento de frenagem.

Por meio da análise do *Traffic Basic*, os estudantes exercitam não apenas os conteúdos da cinemática tradicional, relacionados à posição (x), velocidade (v) e aceleração (a), mas também entram em contato com a dimensão dinâmica e interativa dos sistemas. Do ponto de vista conceitual da física, essas grandezas são vetoriais, pois possuem módulo, direção e sentido; entretanto, no modelo utilizado, que restringe o movimento à pista unidimensional, a posição é reduzida à coordenada escalar x , enquanto velocidade e aceleração são tratadas como escalares com sinal.

A partir das equações clássicas $x = x_0 + v_0t + \frac{1}{2}at^2$ e $v = v_0 + at$, por exemplo, o aluno compreende como as variações na aceleração e na desaceleração (ambas tratadas aqui como parâmetros internos da simulação, sem unidade física) impactam o movimento individual dos veículos, o que, somado às interações entre os carros, leva a padrões coletivos como fluidez, instabilidade ou congestionamento, características de sistemas com-

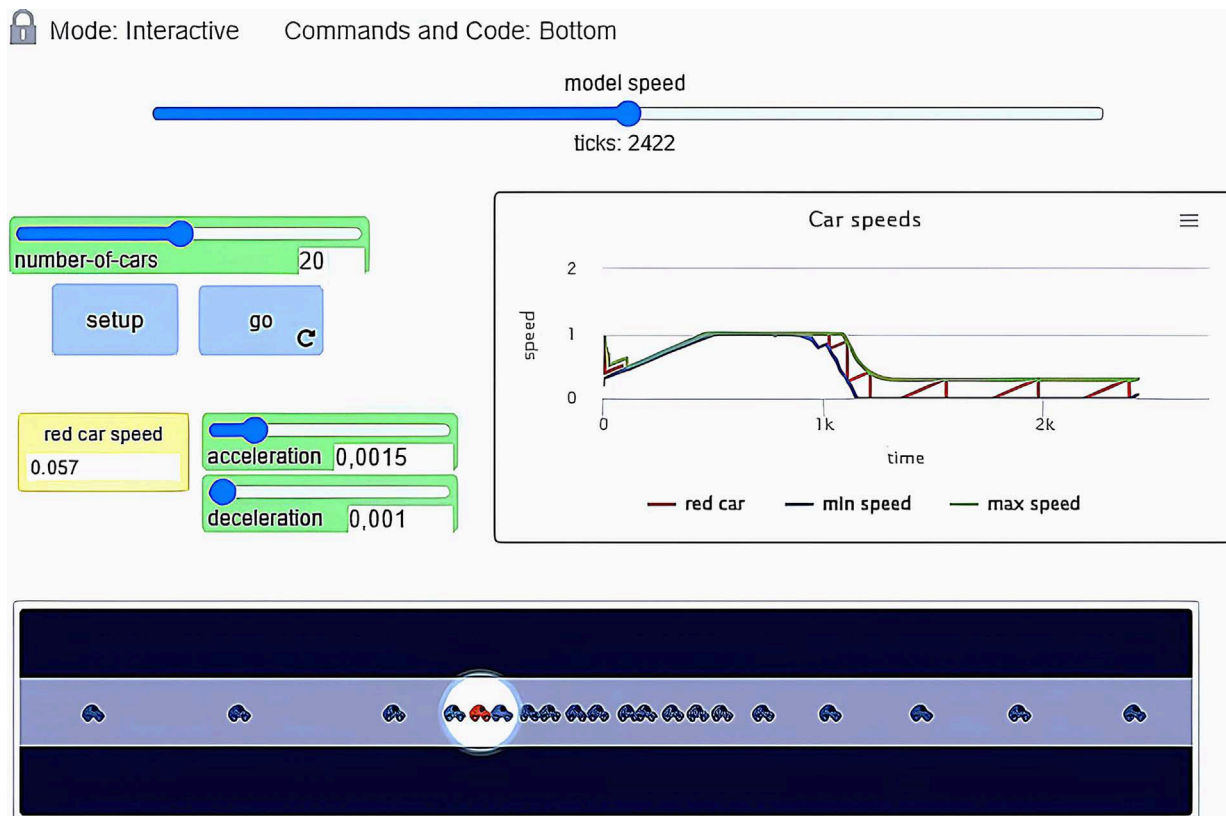


Figura 3 - Interface do Netlogo para o modelo do tráfego em uma via. Os valores de aceleração e desaceleração apresentados na simulação (como 0,0015 e 0,001) aparecem sem unidades de medida convencionais porque o NetLogo opera com um sistema de unidades abstratas e adimensionais, característica comum dos ambientes de modelagem computacional.

plexos adaptativos. Lembrando que, em sistemas complexos como o tráfego, precisamos considerar também a densidade de veículos (ρ) e como eles interagem uns com os outros.

Ressalta-se que, no NetLogo, o tempo é representado por *ticks*, que correspondem a passos temporais arbitrários, enquanto o espaço é segmentado em *patches*, unidades espaciais igualmente abstratas. Esses parâmetros não têm equivalência direta com segundos ou metros, a menos que o próprio usuário estabeleça essa correspondência de forma explícita. Essa abordagem é pedagogicamente vantajosa, pois permite que os estudantes se concentrem nas relações qualitativas e nos padrões emergentes do sistema sem se limitarem às conversões de unidades ou às restrições de escalas específicas. Essa estratégia está alinhada ainda com os princípios da modelagem científica, onde modelos simplificados permitem compreender fenômenos complexos antes de abordar suas versões mais detalhadas e quantitativas.

Ao alterar apenas um parâmetro da simulação apresentada na Fig. 3, especificamente ajustando a desaceleração para 0,0020, já é possível perceber mudanças significativas no comportamento do sistema. Esses

efeitos podem ser visualizados no gráfico de velocidades da Fig. 4, que apresenta três curvas principais: a linha verde representa a maior velocidade instantânea entre todos os carros presentes na pista a cada *tick*, a linha azul indica a menor velocidade instantânea entre todos os veículos, e a linha vermelha acompanha a velocidade de um único carro monitorado ao longo do tempo.

Essa distinção é essencial para compreender o comportamento coletivo e individual do sistema. Observa-se uma separação evidente entre as curvas de velocidade máxima e mínima, com a linha vermelha evidenciando variações bruscas de velocidade, o que demonstra um padrão intermitente de aceleração e frenagem típico

de situações de tráfego instável. A simulação foi conduzida até aproximadamente 3.000 *ticks*.

Abaixo, segue uma análise detalhada do gráfico apresentado na Fig. 4, referente à simulação com 20 carros, aceleração ajustada para 0,0015 e desaceleração para 0,0020.

Fase inicial (0 até aproximadamente 1.000 ticks)

- A velocidade do sistema como um todo aumenta gradualmente, reflexo direto do parâmetro de aceleração.

Por meio da análise do Traffic Basic, os estudantes exercitam não apenas os conteúdos da cinemática tradicional, relacionados à posição, velocidade e aceleração, mas também entram em contato com a dimensão dinâmica e interativa dos sistemas

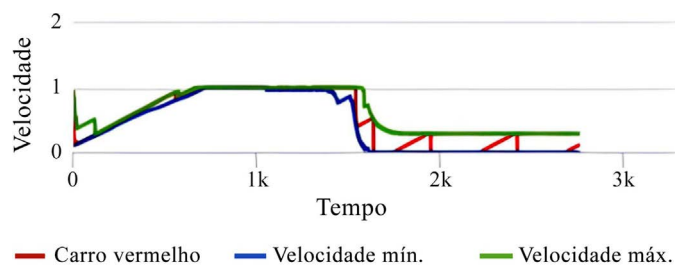


Figura 4 - Variação da velocidade dos carros ao longo do tempo, com destaque para um veículo específico (vermelho), a velocidade mínima (azul) e a máxima (verde) (parâmetros: aceleração = 0,0015, desaceleração = 0,0020, número de carros = 20).

ção (0,0015) que permite aos veículos ganharem velocidade de forma controlada.

- As linhas verde (velocidade máxima) e azul (velocidade mínima) se aproximam, indicando que os carros estão acelerando de forma relativamente uniforme, com a taxa de aceleração sendo suficiente para reduzir as variações individuais e manter certa homogeneidade no fluxo coletivo.
- A linha vermelha, que representa um carro específico, mostra variações suaves, o que sugere que ele está se ajustando ao fluxo, mas sem grandes interrupções.

Fase de estabilidade (por volta de 1.000 até 1.500 ticks)

- As velocidades mínima e máxima se mantêm quase constantes e muito próximas, caracterizando um fluxo estável de tráfego, no qual o equilíbrio entre aceleração e desaceleração contribui para a uniformidade do movimento coletivo.
- Nesse período, os carros estão se movendo com velocidades similares, sem congestionamentos ou paradas significativas.
- O carro vermelho acompanha esse padrão, com pequenas oscilações naturais do sistema.

Fase de instabilidade (a partir de ~1.500 ticks)

- O gráfico mostra uma queda súbita da velocidade mínima, enquanto a velocidade máxima permanece mais alta, evidenciando como o valor de desaceleração (0,0020) começa a influenciar significativamente o comportamento coletivo.
- Isso indica que alguns carros estão começando a desacelerar bruscamente, talvez por aproximação excessiva entre veículos, criando um efeito de engarrafamento local.
- A linha vermelha mostra quedas repetidas até zero, o que representa paradas completas do carro observado, um comportamento típico de um carro preso em tráfego interrompido.

Fase final (~2.000 ticks em diante)

- A velocidade mínima permanece próxima de zero, e a linha vermelha mostra variações intensas, com o

carro acelerando e freando repetidamente, padrão que reflete a competição entre os parâmetros de aceleração e desaceleração.

- Mesmo com a linha verde (velocidade máxima) indicando que alguns carros ainda conseguem se mover rapidamente, o sistema como um todo está desorganizado, com grande variação entre os veículos.
- Isso caracteriza uma situação de fluxo instável e congestionado, reflexo da formação de padrões complexos de interação entre os carros, como ondas de parada e retomada típicas do trânsito real.

Dando continuidade à análise, a Fig. 5 apresenta o resultado de uma nova configuração, agora com aceleração de 0,0045 e desaceleração elevada para 0,026, mantendo o número de carros em 20. Com esses valores, o sistema exibe um comportamento ainda mais instável, demonstrando como o aumento significativo da desaceleração (13 vezes maior que na Fig. 4) domina a dinâmica do sistema, mesmo com uma aceleração três vezes superior.

O aumento simultâneo desses parâmetros intensifica a instabilidade do sistema: a alta desaceleração leva a frenagens bruscas, enquanto a aceleração mais alta permite que alguns veículos retomem rapidamente a velocidade. Isso gera uma dinâmica de tráfego marcada por oscilações intensas. A linha verde (velocidade máxima) permanece relativamente constante, indicando que alguns carros conseguem manter o movimento, enquanto a linha azul (velocidade mínima) se mantém próxima de zero, revelando que outros veículos frequentemente param completamente.

Isso indica que, apesar de alguns veículos conseguirem manter o movimento, outros ficam frequentemente parados. A linha vermelha evidencia esse padrão, com fortes oscilações, revelando um ciclo repetitivo de aceleração e frenagem. A simulação ilustra bem como uma simples alteração em um único parâmetro local pode desencadear um efeito coletivo, evidenciando o trânsito como um sistema dinâmico e interativo, onde pequenas mudanças nos parâmetros individuais geram grandes transformações no comportamento emergente.

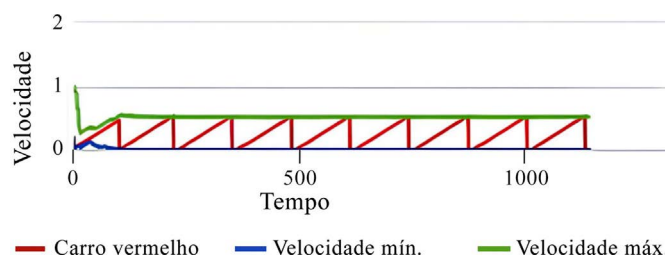


Figura 5 - Variação da velocidade dos carros ao longo do tempo (parâmetros: aceleração = 0,0045, desaceleração = 0,026, número de carros = 20).

3.1. Questões orientadoras para análise de comportamentos emergentes no trânsito

Para que a exploração de sistemas complexos em sala de aula seja significativa, é essencial que o estudante saiba o que observar e analisar durante a simulação. Nesse processo, o papel do professor é fundamental ao orientar a investigação por meio de perguntas que conduzam à reflexão sobre o comportamento coletivo do sistema. Com esse propósito, foi desenvolvido um conjunto de 12 questões que funcionam como um roteiro pedagógico para acompanhar o modelo *Traffic Basic* no ambiente NetLogo, conforme apresentado no infográfico da Fig. 6.

Esse material tem como objetivo estimular uma análise mais aprofundada do movimento, indo além da abordagem tradicional da cinemática. A interação com o modelo permite aos estudantes compreender como pequenas mudanças nos parâmetros - como aceleração, desaceleração e número de veículos - podem gerar transformações significativas no trânsito simulado, favorecendo discussões sobre emergência, instabilidade, transição de regime e auto-organização.

A maioria das questões apresentadas na Fig. 6 sugerem valores específicos para serem configurados na simulação, como número de carros, aceleração e desaceleração. Esses valores podem, e devem, ser modificados livremente para explorar diferentes comportamentos no sistema. Observe atentamente o que muda e como essas alterações afetam o trânsito simulado. As explicações e a análise detalhada de cada uma das questões estão disponíveis no sítio do Google.

As primeiras quatro questões (1 a 4) do guia conduzem os estudantes a uma descoberta importante: o comportamento de um carro individual nem sempre reflete o que acontece com o grupo de veículos. Um carro pode estar acelerando enquanto o trânsito geral desacelera, ou permanecer parado enquanto outros se movem. Essa aparente contradição introduz o conceito de comportamento emergente, fenômeno pelo qual propriedades coletivas surgem das interações en-

tre componentes individuais sem poder ser previstas apenas pela observação isolada de cada parte. No trânsito, congestionamentos e fluidez não são características de carros individuais, mas emergem das múltiplas interações entre veículos. Essa compreensão inicial prepara os estudantes para reconhecer que muitos fenômenos cotidianos seguem essa mesma lógica de emergência coletiva.

Questões para discussão de comportamentos emergentes no trânsito usando o Netlogo

A sequência de 12 questões foi organizada para orientar o estudante na observação e análise de diferentes comportamentos emergentes no sistema de trânsito simulado. As questões estão distribuídas em blocos temáticos: (1 a 4) introduzem o contraste entre velocidade individual e coletiva;

Acesse ao Netlogo:

(5 e 6) abordam a dimensão CTSA ao relacionar a simulação com contextos reais; (7 a 9) propõem reflexões sobre transição de fase e mudanças de regime; e (10 a 12) exploram o comportamento do sistema ao longo do tempo, abordando conceitos como regime transiente, estacionário e atratores.

QUESTÃO 01

Configure a desaceleração em 0,0010. Você acha que haverá engarrafamento? Por que? Faça a simulação. Houve ou não engarrafamento? Explique o que observou.

QUESTÃO 03

Configure a desaceleração em 0,0020. Você acha que haverá engarrafamento? Por que? Faça a simulação. Houve ou não engarrafamento? Explique o que observou.

QUESTÃO 05

Leia o conteúdo da reportagem: ["Engarrafamento fantasma": entenda o que causa lentidão no trânsito quando não há obstruções na via | Distrito Federal | G1](#). Em seguida, discuta: quais são as razões pelas quais podem ocorrer engarrafamentos?

QUESTÃO 07

Configure a simulação com os seguintes parâmetros: número de carros igual a 20 e aceleração de 0,0015. Em seguida, defina a desaceleração como 0,0020 e observe o gráfico gerado. Descreva seu aspecto. Depois, altere a desaceleração para 0,0018 e registre as mudanças no gráfico. Repita esse procedimento para os seguintes valores de desaceleração: 0,0016, 0,0014, 0,0012 e 0,0010. Para qual valor de desaceleração o gráfico apresenta uma mudança significativa em seu padrão? Na sua opinião, por que essa mudança ocorre?

QUESTÃO 09

Mantendo o número de carros em 20, altere o valor da aceleração para 0,0010 e, em seguida, para 0,0020. Você acredita que a mudança no valor da aceleração influencia o ponto em que ocorre a transição de regime? Realize as simulações e identifique, em cada caso, o valor da desaceleração no qual essa mudança acontece.

QUESTÃO 11

Configure o sistema com os seguintes parâmetros: número de carros igual a 20, aceleração de 0,0015 e desaceleração de 0,0020. Execute a simulação e permita que o sistema evolua até 10.000 ticks. Em seguida, aumente gradualmente o valor da desaceleração. Observe e descreva como o gráfico se comporta ao longo do tempo.

QUESTÃO 02

Configure a desaceleração em 0,0015. Você acha que haverá engarrafamento? Por que? Faça a simulação. Houve ou não engarrafamento? Explique o que observou.

QUESTÃO 04

Em que sentido os carros se movem? Em que sentido o engarrafamento se move? Explique.

QUESTÃO 06

Há alguns anos atrás o prefeito de São Paulo reduziu significativamente a velocidade máxima das vias na cidade. Ao ser questionado sobre de que modo a medida melhoraria o trânsito, ele respondeu o que você pode ver no link: [Haddad: "Redução da velocidade máxima aumenta a velocidade média". É possível testar esta ideia com a simulação Traffic Basic?](#) Se sim, como seria. Faça o teste e discuta a medida adotada pela prefeitura de São Paulo.

QUESTÃO 08

Mantendo a aceleração em 0,0015, modifique o número de carros na simulação para 10 e, depois, para 30. Você acredita que o valor da desaceleração em que ocorre a mudança de regime será diferente nesses cenários? Realize as simulações e identifique, em cada caso, o valor da desaceleração no qual a transição de regime acontece.

QUESTÃO 10

Configure o sistema com os seguintes parâmetros: número de carros igual a 20, aceleração de 0,0015 e desaceleração de 0,0010. Execute a simulação e permita que o sistema evolua até 10.000 ticks. Em seguida, aumente gradualmente o valor da desaceleração. Observe e descreva as alterações no gráfico ao longo do tempo.

QUESTÃO 12

Explique porque as respostas às 10 e 11 são diferentes.

Figura 6 - Guia de questões orientadoras para análise de comportamentos emergentes no trânsito com o modelo *Traffic Basic* no NetLogo. Os parâmetros de aceleração e desaceleração indicados referem-se a valores adimensionais internos do modelo NetLogo, sem correspondência direta com as unidades físicas convencionais como m/s^2 . Sua interpretação está vinculada à lógica de incremento ou redução da velocidade por *tick* da simulação, sem a necessidade de conversões entre unidades físicas.

As questões 5 e 6 do guia pedagógico introduzem uma dimensão importante ao trabalho com a simulação: a conexão entre os conceitos físicos estudados e a realidade do cotidiano urbano no contexto CTSA (Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente). Ao propor situações inspiradas no dia a dia, essas questões permitem que os estudantes percebam como os padrões emergentes observados no *Traffic Basic* se relacionam com problemas reais do trânsito que eles vivenciam. Essa abordagem CTSA é particularmente valiosa porque ajuda os jovens a compreender que a física não é apenas uma disciplina escolar, mas uma ferramenta para entender e intervir no mundo ao seu redor [15, 16].

Quando os estudantes conseguem estabelecer essas conexões entre a simulação e questões como mobilidade urbana, impactos ambientais do tráfego ou políticas públicas de transporte, desenvolvem uma visão mais crítica e contextualizada da ciência [17]. Essa perspectiva contribui para formar cidadãos mais conscientes sobre como as decisões tecnológicas e científicas afetam a sociedade, especialmente em questões urbanas que impactam diretamente sua qualidade de vida.

Já as questões 7 a 9 elevam o nível de análise ao introduzir o conceito de transição de fase, um fenômeno fundamental em sistemas complexos onde pequenas mudanças nos parâmetros podem provocar transformações qualitativas no comportamento do sistema [18]. No contexto do tráfego, isso se manifesta quando o sistema passa abruptamente de um estado de fluxo livre para um estado congestionado, ou vice-versa. Essa transição não é gradual, mas ocorre em pontos críticos específicos, semelhante ao que acontece quando a água se transforma em vapor ou quando um material se torna magnético. Os estudantes podem observar esse fenômeno ajustando gradualmente a densidade de carros ou os parâmetros de aceleração e desaceleração, identificando os valores críticos onde o comportamento do sistema muda drasticamente.

Por fim, as questões 10 a 12 aprofundam a compreensão temporal dos sistemas dinâmicos, explorando conceitos essenciais como regime transiente, regime estacionário e comportamento atrator [19]. No *Traffic Basic*, isso pode ser observado quando diferentes configurações iniciais de veículos convergem para padrões similares de tráfego após um período de estabilização. Essa análise temporal é fundamental para que os estudantes compreendam que os sistemas complexos possuem uma dinâmica própria de evolução e estabilização, conceitos que se aplicam não apenas ao tráfego, mas a diversos fenômenos naturais e sociais, desde populações biológicas até mercados financeiros.

4. Considerações finais

A proposta didática apresentada neste trabalho demonstra o potencial do NetLogo como ferramenta pedagógica para a abordagem de sistemas complexos na educação básica. Por meio da simulação *Traffic Basic*, foi possível ilustrar como conceitos fundamentais da cinemática podem ser aplicados na compreensão de fenômenos complexos do cotidiano, especificamente o tráfego urbano.

A abordagem baseada em agentes permite que os estudantes visualizem e compreendam como interações simples entre elementos individuais podem gerar comportamentos emergentes. Isso representa uma mudança significativa em relação ao ensino tradicional de física, que frequentemente se limita à aplicação mecânica de fórmulas em contextos desconectados da realidade dos alunos.

Entre as principais contribuições desta proposta, destacam-se: (i) a integração de conceitos da cinemática com a teoria dos sistemas complexos;

(ii) o desenvolvimento do pensamento sistêmico e da capacidade de análise crítica; (iii) a conexão entre conhecimento científico e situações cotidianas; e (iv) o estímulo à investigação e experimentação por meio de simulações computacionais. No entanto, é importante reconhecer algumas limitações da abordagem proposta. A implementação efetiva desta metodologia requer acesso a recursos tecnológicos e familiaridade dos professores com ferramentas de simulação computacional. Além disso, o tempo necessário para explorar adequadamente as simulações pode ser um desafio dentro da estrutura curricular tradicional.

Como possibilidades futuras, considera-se promissora a ampliação desta abordagem para a exploração de outros fenômenos complexos, como a disseminação de epidemias, a dinâmica de populações ou os efeitos das mudanças climáticas, por exemplo. Também se destaca a importância de desenvolver materiais didáticos complementares e investir em programas de formação continuada que auxiliem os professores no uso de ferramentas de modelagem e simulação.

Mais do que uma proposta pontual, este trabalho busca contribuir para a construção de um ensino de física mais aberto ao diálogo com a realidade, atento às múltiplas dimensões dos fenômenos e comprometido com a formação de sujeitos críticos e capazes de interpretar o mundo à luz da complexidade que o caracteriza.

Agradecimentos

Agradecemos ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - Polo 38 (UFRR) pelo suporte acadêmico e institucional na realização deste trabalho.

A análise temporal é fundamental para que os estudantes compreendam que os sistemas complexos possuem uma dinâmica própria de evolução e estabilização, conceitos que se aplicam não apenas ao tráfego, mas a diversos fenômenos naturais e sociais, desde populações biológicas até mercados financeiros

Endereços de Internet

O material de apoio com as explicações e a análise detalhada das questões apresentadas na Fig. 6 está disponível no site: <https://sites.google.com/view/fisicaintegrada/explorando-sistemas-complexos>.

Notas

¹Disponível em <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>, acesso em 10/2/2025.

²Disponível em <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/models/TrafficBasic>, acesso em 10/2/2025.

Referências

- [1] M.A. Moreira, *Estud. Avan.* **32**, 73 (2018). doi
- [2] M.A. Moreira, *Rev. do Prof. de Fis.* **2**, 80 (2018). doi
- [3] S. Schneegans, S. Nair-Bedouelle, in: *UNESCO Science Report: The Race Against Time For Smarter Development* (UNESCO, Paris, 2021), p. 17-19. Disponível em <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000377448>, acesso em 27/3/2025.
- [4] I.J. Cabral de Paulo, *A Física na Escola* **23**, e240259 (2025). doi
- [5] G. Watanabe, *Revista Brasileira de Ensino de Física* **43**, e20200416 (2021). doi
- [6] E.N. Lorenz, *Rev. Jour. of the Atmosph. Sci.* **20**, 130 (1963).doi
- [7] E.E. Macau, *Sistemas Complexos* (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2002). Disponível em <http://marte3.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/iris@1905/2005/08.04.09.20/doc/complexsys2002d.PDF>, acesso em 2/4/2025.
- [8] H.M. Nussenzveig (Org.), *Complexidade e Caos* (Editora UFRJ/COPEA, Rio de Janeiro, 2003).
- [9] F.L. Ribeiro, *Introdução à Modelagem de Sistemas Complexos* (Departamento de Física, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016). Disponível em <https://dmm.ufla.br/ic-complex/arq/apostila-sist-complex.pdf>, acesso em 3/4/2025.
- [10] M. De Domenico, H. Sayama, S. Agnello (ed.), *Complexity Explained*, Version 1.0 (2019). Disponível em: <https://complexityexplained.github.io>, acesso em 3/4/2025.
- [11] Sustentarqui, *Grupos de Caronas: Diminuição do Tráfego* (2024). Disponível em <https://sustentarqui.com.br/grupos-de-caronas-diminui-cao-do-trafego/>, acesso em 31/1/2025.
- [12] R. Oliveira, *O Aquecimento Global Numa Abordagem de Sistemas Complexos*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2013.
- [13] U. Wilensky, *NetLogo* (Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling, Northwestern University, Evanston, 1999). Disponível em <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>, acesso em 10/2/2025.
- [14] Ministério da Educação, *Base Nacional Comum Curricular* (MEC, Brasília, 2017).
- [15] R. Strieder, M. Kawamura, *Rev. de Educ. em Ciên. e Tecn.* **10**, 27 (2017). doi
- [16] W. Santos, *Rev. de Edu. Ciên. e Tecn.* **1**, 109 (2008).
- [17] D. Auler, D. Delizoicov, *Ens. Pesqui. Educ. Ciênc.* **3**, 122 (2001). doi
- [18] B.S. Kerner, *The Physics of Traffic: Empirical Freeway Pattern Features, Engineering Applications, and Theory* (Springer-Verlag, Berlin, 2004), p. 45-67.
- [19] S.H. Strogatz, *Nonlinear Dynamics and Chaos: With Applications to Physics, Biology, Chemistry, and Engineering* (Westview Press, Boulder, 2014), 2nd ed., p. 325-333.