

## O PENSAMENTO CRÍTICO NA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS NAS ENGENHARIAS

**Maria Alice Veiga Ferreira de Souza, Sotério Ferreira de Souza**

Instituto Federal do Espírito Santo e Universidade Federal do Espírito Santo. (Brasil)

alicevfs@hotmail.com, mariaalice@ifes.edu.br, soterio.souza@hotmail.com

**Palavras-chave:** pensamento crítico; problemas; sistemas lineares; engenharias

**Keywords:** critical thinking; problems; linear systems; engineering

### RESUMO

Sistemas lineares estão presentes em muitas aplicações das Engenharias e, por isso, devem fazer sentido para esses estudantes. A insuficiência na produção de significados denunciada em pesquisas científicas justificam investimentos científicos que busquem potencializar esse aprendizado. Assim, verificou-se o desempenho de 36 estudantes de Engenharia em meio a uma atividade problematizadora que utilizasse sistemas lineares – estudo de fluxo de veículos – e que promovesse o desenvolvimento do pensamento crítico. Para explicar a condução da pesquisa, selecionou-se o trabalho de três desses estudantes. A opção foi por uma pesquisa descritiva e qualitativa de um estudo de caso. As análises dos protocolos dos estudantes revelaram que a atividade proposta em conjunto com a intervenção docente não só proporcionou a produção de significados sobre sistemas lineares como favoreceu o desenvolvimento do pensamento crítico pelos estudantes ao construírem equações lineares a partir de um contexto específico e apresentarem protocolos críticos diante do problema.

### ABSTRACT

Linear systems are present in many applications of engineering, and therefore, must make sense to these students. The underproduction of meanings reported in scientific research justifies scientific investments that seek to maximize this learning. Thus, it was verified the performance of 36 engineering students in the midst of a problem-based activity that utilizes linear systems - study of traffic flow - and promotes the development of critical thinking. To explain the conduct of the research, it was selected the task of three students among all. The choice was a descriptive and qualitative research of a case study. The analysis of the protocols of the students revealed that the proposal together with the teaching intervention activity not only provided the production of meanings about linear systems but also favored the development of critical thinking by students to build linear equations from a specific context as well as present critical protocols on the problem.

## ■ O problema

Os protocolos verbais de estudantes acerca dos significados de sistemas lineares e suas aplicações em contextos acadêmico-científico-profissionais apontados por Souza (2013) justificam intervenções pedagógicas que busquem potencializar esse aprendizado, sob pena de se tornarem conteúdos matemáticos vazios e, por isso, diminuindo as chances de aplicabilidade e de contribuições para uma formação escolar que promova a autonomia e integração em uma sociedade que exige participação em contextos econômicos, sociais e profissionais.

No caso do contexto profissional, exigir-se-á aplicação desses conteúdos em situações novas, na resolução de outros problemas e frequente tomada de decisões que culminem em resultados favoráveis para a sociedade como um todo. As dificuldades acerca do conteúdo de sistemas lineares relatadas por Souza e Simmer (2013), sobretudo quanto à conceituação e interpretação desse instrumento matemático, indicam intervenções docentes cada vez mais elaboradas e voltadas para a formação de sujeitos capazes de acompanhar e enfrentar as constantes alterações impostas pelos complexos sistemas do mundo atual. Nessa direção, o desenvolvimento do pensamento crítico pode ser um ingrediente importante para essa formação.

O desenvolvimento do **pensamento crítico** promovido pelo educador pode ter o poder de elevar o espírito crítico do sujeito frente a situações complexas novas que permeiam o mundo contemporâneo. Essa complexidade, a propósito, não é constante e nem inalterável, mas evolui mais rapidamente do que a capacidade de reformulação curricular educacional. Nessa perspectiva, o sujeito deve estar pronto para acompanhar as rápidas mudanças que requerem atitude de busca autônoma pelo conhecimento. Isso envolve uma formação educacional voltada para a formulação de hipóteses e o desenvolvimento da capacidade de observação, interpretação e conclusão de fenômenos. Esses são elementos que podem ser praticados/promovidos pelo educador em meio ao trabalho com os conteúdos escolares. O êxito dependerá, principalmente, do método utilizado e da escolha da atividade que provoque o que se quer.

Propõe-se, nessa perspectiva, verificar o desempenho de estudantes ingressantes das Engenharias, a partir da intervenção docente que promova o desenvolvimento do pensamento crítico, encorajando-os na busca por soluções próprias em meio a uma atividade problematizadora que utilize sistemas lineares para sua solução. Além disso, propõe-se apresentar a aplicação da atividade que faça emergir o pensamento crítico visando contribuir com o meio educacional.

## ■ O pensamento crítico: apoio teórico

O pensamento crítico foi teorizado por Ennis (1985, p.46), que afirma que “O pensamento crítico é uma forma de pensamento racional, reflexivo, focado no decidir em que acreditar ou o que fazer”. Ennis acredita que o pensamento crítico ocorra em meio à resolução de problemas e na interação com outras pessoas, o que mostra a adequação com a presente proposta de investigação ao valorizar o trabalho conjunto para um fim maior: a solução de um problema e/ou a tomada de decisão.

De maneira geral, a racionalidade, reflexão e avaliação devem estar presentes em todo esforço pedagógico de promoção dessa variável. Por esse motivo, essas três vertentes formaram o pano de fundo da intervenção pedagógica que aqui se apresenta. Além disso, para Ennis (1987), o pensamento

crítico é composto por disposições e habilidades. Algumas disposições são: enunciar claramente a questão ou problema, justificá-lo, cercar-se de informações, não se desviar do foco do problema, buscar alternativas, ter espírito de busca, considerar outras visões sobre o mesmo problema, raciocinar a partir de premissas, etc. Algumas habilidades são: identificar a questão ou problema, analisar argumentos, formular e responder a questões de esclarecimento e de desafios, inferir etc.

Outro aspecto importante no trabalho de desenvolvimento do pensamento crítico é a avaliação, estudada por Ennis (1987) com base em perguntas que promovam respostas abertas ou não estruturadas. Novamente, a escolha de Ennis está em sintonia com nossa proposta de pesquisa, por não tratar de situações-padrão tais como as veiculadas nos testes objetivos de pensamento crítico, mas, ao contrário, uma situação própria da Engenharia e, também, que possui elementos motivadores e de interesse dos participantes por serem dessa área acadêmico-científica.

As avaliações não estruturadas permitem que seja investigada a capacidade de coordenação, principalmente, do raciocínio, da reflexão e a avaliação de resultados obtidos em meio ao trabalho com uma situação-problema complexa. Essa é uma das vantagens das avaliações não estruturadas sobre as estruturadas. Além disso, Vieira e Vieira (2000) acrescentam a vantagem de os participantes ainda poderem apresentar razões para seus protocolos. Com essas informações, é possível inferir sobre a capacidade de raciocínio, reflexão e avaliação de maneira qualitativa.

## ■ Método

A opção foi por uma pesquisa descritiva e qualitativa de um estudo de caso. Ademais, contou-se com observação sistemática dos protocolos verbais e escritos dos estudantes envolvidos. Participaram da pesquisa 36 estudantes de segundo período de Engenharia de uma instituição federal brasileira de ensino, reunidos em grupos de três componentes. Como esses estudantes faziam parte de engenharias diferentes (elétrica, mecânica, metalúrgica, etc), cada grupo possuía um tema afim com sua área técnica, mas todos explorando o mesmo conteúdo escolar, quais sejam: sistemas lineares e a lei da conservação do fluxo.

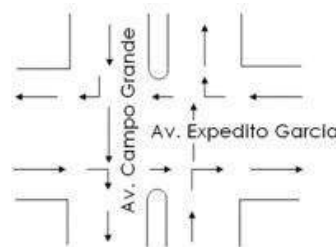
Para efeito dessa pesquisa, apresentaremos os resultados de apenas um dos grupos – 3 estudantes da Engenharia de Produção – escolhidos aleatoriamente, que estudaram o caso do fluxo de trânsito em um cruzamento de duas avenidas localizado no município de Cariacica-ES, Brasil, que gera constantes engarrafamentos e é controlado por semáforos.

Antes de tudo, foram realizados testes diagnósticos que revelaram a insuficiência de produção de significados em sistemas lineares, o que os impedia de aplicá-la em contextos acadêmico-profissionais, tal como relatado por Souza e Simmer (2013), apesar de já terem estudado esse tema em anos escolares anteriores. Esse cenário era, portanto, propício a novas investidas educacionais. Foi, então, realizada uma revisão sobre o assunto, a fim de capacitá-los a resolverem exercícios analíticos do tipo “resolva o sistema linear e declare o número de soluções possíveis, se houver”; “transponha o sistema linear para a linguagem matricial”; “declare todos os valores de  $x$  que tornam o sistema com uma única solução”, etc., todos baseados em Anton e Busby (2006) e outros autores da área de Álgebra Linear.

Passada essa etapa, de maneira dialogada e sempre em sala de aula na disciplina de Álgebra Linear, os estudantes foram questionados pela professora-pesquisadora sobre onde poderiam aplicar esse instrumento matemático. Não houve qualquer resposta coerente. A professora-pesquisadora perguntou se o trânsito de veículos em determinados locais os incomodava, se eles saberiam calcular o fluxo de corrente em um circuito elétrico, se o repasse de dinheiro entre os bancos poderia ser controlado, entre outras provocações, todas contendo implicitamente os conteúdos que se queria focar. Os estudantes mostraram suas preferências por determinados assuntos e, assim, foram organizados em grupos.

O grupo de 3 estudantes da Engenharia de Produção optou por estudar o cruzamento da Avenida Campo Grande com a Avenida Expedido Garcia, ambas localizadas no município de Cariacica-ES, como ilustra a Figura 1 elaborada pelos próprios alunos.

**Figura 1: Esboço do fluxo do trânsito entre as Avenidas Campo Grande e Expedito Garcia no município de Cariacica-ES.**



Fonte: relatório do trabalho de 3 estudantes da Eng. Produção de uma instituição federal de ensino brasileira.

As intervenções da professora-pesquisadora foram realizadas nos horários de aula, que serviram de ponto de encontro para as trocas de experiências e verificação do andamento dos trabalhos. Esses eram os momentos que oportunizaram o **desenvolvimento do pensamento crítico** dos estudantes pela professora-pesquisadora. A situação-problema não era dominada nem pelos estudantes e nem pela professora-pesquisadora, o que proporcionou construção conjunta.

A intervenção da professora-pesquisadora se dava sempre por meio oral e em conjunto com os componentes de cada grupo. Foram 8 encontros, de cerca de meia hora cada, ao longo de 4 semanas, registrados por escrito pela professora-pesquisadora, como um diário-de-bordo, destacando as dúvidas, as dificuldades, as soluções imaginadas e apresentadas e as consultas bibliográficas e na Internet, realizadas pelos estudantes para a solução do problema. Os 3 estudantes visitaram várias vezes o local, e em momentos diversos, a fim de sistematizarem a contagem dos carros nas vias e conhecerem os horários de congestionamentos. Ademais, os alunos consultaram a legislação de trânsito visando reunir informações pertinentes sobre a sincronia dos semáforos, o tempo de sinal verde-vermelho etc. que vieram a integrar os procedimentos metodológicos do grupo.

### ■ Resultados e discussão

Após a escolha do tema e do local a ser estudado o fluxo de veículos, o grupo foi provocado oralmente pela professora-pesquisadora. Seguem trechos desses protocolos:

**Professora-pesquisadora:** “o que vocês querem saber sobre esse fluxo de trânsito?”;

**Estudantes:** “Queremos entender por que há tantos engarrafamentos.”;

**Professora-pesquisadora:** “Só isso?”; <silêncio>

**Estudantes:** “Podemos sugerir mudanças para melhorar o fluxo.”;

**Professora-pesquisadora:** “Sim, o trânsito pode ser imaginado como uma produção. De que maneira vocês pensam em fazer isso?”; <longo silêncio>

**Estudantes:** “Temos de ver como as coisas acontecem por lá.”; “Não sabemos quantos carros passam por minuto... ou por segundo... nem quanto tempo o semáforo fica aberto. Xiii, como vamos contar tantos carros em tão pouco tempo?”;

**Professora-pesquisadora:** “É preciso criar um método de contagem...o que é um fluxo? Existe alguma teoria sobre isso?”;

A primeira reunião foi permeada de dúvidas e levantamento de possibilidades. O grupo foi remetido a refletir sobre o que seria um fluxo, sobre como contar objetos em rápido movimento, sobre como envolver o semáforo nesse contexto. Na segunda reunião o grupo apresentou propostas para as dúvidas que possuíam.

**Estudantes:** “professora, nós pensamos em filmar por algum tempo o fluxo do trânsito e, depois, contar os veículos revendo a filmagem.”

**Professora-pesquisadora:** “Boa ideia! Com isso, vocês terão uma amostra.”;

**Estudantes:** “Não sabemos ainda em quais horários fazer a filmagem...”;

**Professora-pesquisadora:** “Lembrem-se, o que vocês querem?”;

**Estudantes:** “Queremos solucionar o problema de engarrafamentos naquele lugar.”;

**Professora-pesquisadora:** “Então...”; <longo silêncio>

**Estudantes:** “Professora, o que isso tem a ver com sistemas lineares?”;

**Professora-pesquisadora:** “Vamos ver... o que são sistemas lineares? É um conjunto de equações lineares, certo? O que é uma equação linear?”;

**Estudantes:** “Sim, nós sabemos... então os veículos serão as equações?”;

**Professora-pesquisadora:** “Vocês estudaram o fluxo?”;

**Estudantes:** “Sim, existe a lei da conservação do fluxo que fala que tudo o que entra é igual a tudo o que sai?”;

**Professora-pesquisadora:** “O que temos nos cruzamentos das avenidas?”;

**Estudantes:** “Ahhh, carros que entram e que saem!”.

Nesse momento, os estudantes tinham alguns importantes avanços: relacionaram o estudo da conservação do fluxo com o fluxo de veículos e pensaram em um modo de contarem a quantidade de carros que seriam os dados de seu trabalho. O **pensamento crítico** foi estimulado por meio da busca de informações (lei da conservação do fluxo) e pela reflexão de como obter os dados do trabalho. Além disso, houve raciocínio ao entenderem as equações lineares no contexto do fluxo de veículos.

Até aquele momento eles já haviam definido dois horários, o de baixo e o de alto fluxo de veículos, após ouvirem de moradores e trabalhadores da região, respectivamente, de 6h às 7h, e de 17h às 18h. A opção por identificar horários de baixo e alto fluxo se deu pelo desejo de se comparar o mesmo tempo de sinal verde dos semáforos para situações diferentes de fluxo naquele local. Para cada horário foram

filmadas e observadas as quantidades de veículos que transitavam nesses intervalos. Decidiram usar a média aritmética de veículos por minuto, porque em cada dia de filmagem, no mesmo horário, obtiveram quantidades diferentes de veículos, mas próximas. Com essas informações, construíram um esquema (Figura 2a) - que os auxiliou a entender o contexto do problema - e o sistema linear correspondente. Em seguida, o escalonaram e se depararam com uma série de conclusões sobre o fluxo.

Figura 2a Esquema sobre o fluxo nas avenidas estudadas

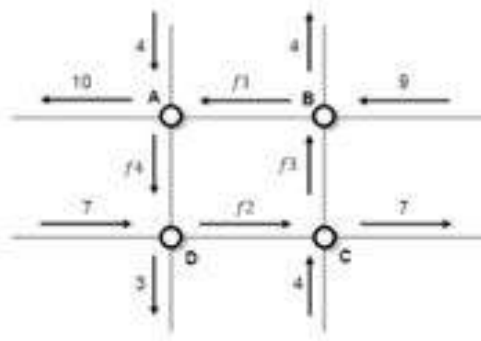


Figura 2b Equações lineares extraídas do esquema da Figura 2a.

$$\begin{aligned} \text{Nó A: } f_1 - f_4 &= 6 \\ \text{Nó B: } f_3 - f_1 &= -5 \\ \text{Nó C: } f_2 - f_3 &= 3 \end{aligned}$$

Fonte: relatório do trabalho de 3 estudantes da Eng.Produção de uma instituição federal de ensino brasileira.

Em uma das reuniões, eles explicaram os passos tomados para a construção do sistema linear. Seus protocolos nesse momento foram:

**Estudantes:** "...com esse esquema, analisamos o fluxo e construímos um conjunto de equações e a formação de um sistema linear resultante...";

Nesse instante, mostraram as quatro equações lineares obtidas a partir do esquema, conforme Figura 2b. A denominação de nós vem dos estudos realizados da lei da conservação do fluxo.

**Professora-pesquisadora:** "Como ficaram as equações lineares para o horário de menor pico de fluxo?";

**Estudantes:** "Nossa, muito diferente! Como nosso foco era o engarrafamento, abandonamos aquele esquema.";

Eles explicaram ainda que:

**Estudantes:** "Essa formação foi possível <se referiam às quatro equações>, porque existe a conservação do fluxo em cada nó. Daí "tiramos" a matriz... <mostraram a matriz da Figura 3>";

Figura 3: Sistema linear formado a partir das quatro equações lineares.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & -1 & 6 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & -4 \\ -1 & 0 & 1 & 0 & -5 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 3 \end{bmatrix}$$

Fonte: relatório do trabalho de 3 estudantes da Eng. Produção de uma instituição federal de ensino brasileira.

**Estudantes:** “Resolvendo o sistema temos...”; (Figura 4a)

**Figura 4:** a) Resultado do escalonamento do sistema linear; b) Análise do resultado do escalonamento do sistema linear com a restrição dada pelos estudantes  $r \leq 4$  carros/min.

$$\begin{cases} f1 = r + 6 \\ f2 = r + 4 \\ f3 = r + 1 \\ f4 = r \end{cases} \quad \begin{cases} 6 \leq f1 \leq 10 \\ 4 \leq f2 \leq 8 \\ 1 \leq f3 \leq 5 \\ 0 \leq f4 \leq 4 \end{cases}$$

Fonte: relatório do trabalho de 3 estudantes da Eng. Produção de uma instituição federal de ensino brasileira.

**Estudantes:** “Analisando os parâmetros, sabemos que o fluxo não deve ser negativo. Tomando-se um valor  $r \leq 4$  carros/min, temos a seguinte análise...”; (Figura 4b)

Concluíram que:

**Estudantes:** “Essa é a análise geral do fluxo no horário de maior pico nas Avenidas.”

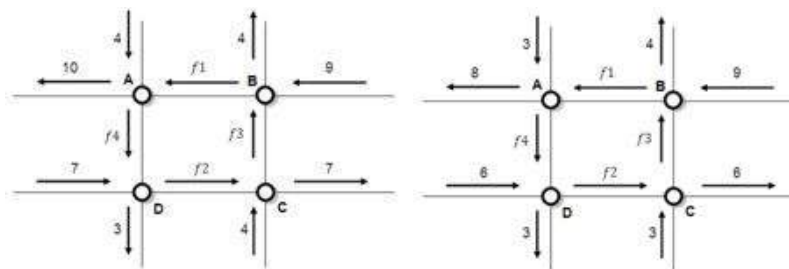
**Professora-pesquisadora:** “Ok, mas vocês ainda não propuseram melhorias no trânsito daquele local.”;

**Estudantes:** “É verdade, mas sabemos que a solução virá ajustando o tempo de sinal verde/vermelho para cada horário até conseguirmos que o fluxo do horário de maior pico seja igual ou se aproxime do fluxo de menor pico.”;

**Professora-pesquisadora:** “Vocês chegaram a comparar esses fluxos?”;

**Estudantes:** “Simmmm, veja só...”; (Figura 5)

**Figura 5:** Comparação dos fluxos nos dois horários.



Fonte: relatório do trabalho de 3 estudantes da Eng. Produção de uma instituição federal de ensino brasileira.

Seguiu-se uma série de explicações carregadas de significados tanto pelo lado do instrumento matemático de sistemas lineares, quanto pelo lado da situação-problema. Apresentam-se aqui algumas dessas conclusões extraídas do relatório escrito desse grupo de estudantes, a título de ilustração no que diz respeito ao pensamento crítico.

Estudantes: “A Avenida Expedito Garcia é mais movimentada que a Avenida Campo Grande, assim, o problema maior se concentra na Avenida Expedito Garcia. Os pontos de ônibus se encontram na Expedito Garcia. Na Avenida Campo Grande a quantidade de ônibus é menor em relação à Expedito Garcia, pois os ônibus que possuem o itinerário nesta avenida é menor. Existem dois agravantes que



dificultam o trânsito do local no horário de maior pico. Primeiro agravante: como as avenidas se localizam em grandes centros comerciais e devido à presença de escolas nas redondezas, a Avenida Expedito Garcia possui um fluxo muito alto de pessoas fazendo, assim, com que haja necessidade de faixas e semáforos. Segundo agravante: há carros estacionados ao longo da Avenida Expedito Garcia, esses carros deveriam ser deslocados para outro local. O reposicionamento dos carros ou dos pontos de ônibus neste local pode gerar futuros estudos. No horário de menor pico constatamos que o fluxo é médio, e que não traz muitos problemas para a região.

As atividades propostas aos 36 estudantes ensejaram a intervenção docente tanto no desenvolvimento do pensamento crítico quanto na produção de significados sobre os usos de sistemas lineares em contextos das Engenharias. O desempenho dos estudantes nesses dois tópicos foi considerado satisfatório.

### ■ Conclusões

Consideramos que a atividade proposta proporcionou a produção de significados sobre sistemas lineares e o desenvolvimento do pensamento crítico revelados, principalmente, nos relatos da construção das equações lineares, explicando suas origens e justificando terem aquele formato, emersos por pensamento racional, reflexivo e focado em decisões, como defende Ennis (1985). Com isso, sentiram necessidade do apoio de um sistema linear, por entenderem que as diferentes equações estavam interligadas pelos nós existentes no esquema que elaboraram e que retratava o contexto das avenidas.

A reflexão, a racionalidade e a necessidade de decidir estiveram fortemente presentes ao longo do trabalho e puderam ser verificados em momentos como os de criar um modo de contagem dos veículos, de buscarem apoio em uma teoria como a lei de conservação do fluxo, como decidirem o que fazer e como organizar os dados colhidos das filmagens, além de avaliarem, a todo o momento, suas opções. A presença do espírito de grupo também merece destaque. As contribuições emergiam indiferentemente dos três estudantes que se mostravam motivados, ora um se sobressaindo sobre os outros, mas todos acompanhando e desenvolvendo lógicas eficientes para a solução do problema, o que resultou em desempenho satisfatório pelos estudantes na tarefa proposta.

A contribuição da professora-pesquisadora foi a de provocar os momentos de reflexão e racionalidade, principalmente, por meio de questionamentos e por não permitir desvios do foco do problema.

Todos os grupos atingiram desempenhos satisfatórios tanto na produção de significados para sistemas lineares, quanto no desenvolvimento do pensamento crítico diante de suas situações-problemas, o que revelou o aspecto educacional efetivo da atividade, agora, validada.

### ■ Referências bibliográficas

- Anton, H. A.; Busby, R. (2006). *Álgebra linear contemporânea*. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- Ennis, R. H. (1985). A logical basis for measuring critical thinking skills. *Education Leadership*, 43(2), 44-48.



- Ennis, R. H. (1987). A taxonomy of critical thinking dispositions and abilities. In J. B. Baron e R. J. Sternberg (eds.). *Teaching thinking skills: Theory and practice*. New York: W. H. Freeman and Company.
- Souza, M. A. V. F. de. (2013). Sistemas lineares na Engenharia: conceito, significados e situação didática. *Enseñanza de las Ciencias*, v.extra, 3656-3661.
- Souza, M. A. V. F. de; Simmer, L. M.(2013). Sistemas lineares: do ensino médio às engenharias. *Acta Latinoamericana de Matemática Educativa*, Buenos Aires, Argentina, 27, julho.
- Vieira, C. T.; Vieira, R. M. (2000). *Promover o pensamento crítico dos alunos: propostas concretas para a sala de aula*. Porto, Portugal: Porto Editora.