

Design de um problema instrucional: dificuldades de estudantes universitários dos cursos de Engenharia na aplicação da Teoria dos Erros

Adriano R. Sacate^{1,2*}, Alexandre F. Dambe^{1,2}, Inocente V. Mutimucuo¹, Marina Y. Kotchkareva¹

¹Faculdade de Educação, Universidade Eduardo Mondlane, Av. J. Nyerere, Campus Universitário Principal, UEM, Maputo, Moçambique

²Departamento de Ciências Básicas, Instituto Superior de Transportes e Comunicações, Prol. Av. Kim Il Sung, Maputo, Moçambique

*e-mail do autor correspondente: professorhamelane@gmail.com

Resumo – O artigo apresenta o estudo de um problema instrucional identificado no processo de ensino e aprendizagem da disciplina de Física I, leccionada para estudantes dos cursos de Engenharia numa instituição de Ensino Superior. O problema consiste na compreensão distorcida da Teoria dos Erros e nas dificuldades de aplicação dos seus conceitos aos cálculos das medições realizadas no laboratório. Para compreender a natureza desta dificuldade, recorreu-se ao Design Instrucional, aplicando-se a etapa de Análise do modelo seleccionado, que permitiu examinar o contexto da disciplina, o grupo de estudantes e as tarefas de aprendizagem associadas à Teoria dos Erros. Esta etapa confirmou que a origem da dificuldade é instrucional e não um simples sintoma transitório. Os resultados da análise revelaram uma discrepância significativa entre o desempenho esperado e o desempenho real dos estudantes, evidenciada em aspectos como a definição dos tipos de erro, os cálculos de erro absoluto e relativo, a escolha de métodos adequados para avaliação de erros e a interpretação dos resultados experimentais. A análise mostrou também factores contextuais que contribuem para a persistência do problema, incluindo o tempo reduzido dedicado à introdução da Teoria dos Erros, a heterogeneidade do grupo-alvo e fragilidades nos pré-requisitos matemáticos. As etapas seguintes do modelo, relativas ao desenho da estratégia, desenvolvimento de protótipos e avaliação, não foram abordadas neste estudo e ficam reservadas para trabalhos futuros.

Palavras-chave - Design Instrucional, Dificuldades na aplicação de Teoria dos Erros, Ensino e Aprendizagem.

I. INTRODUÇÃO

O artigo apresenta a proposta de solução de um problema encontrado no processo de ensino e aprendizagem com recurso a engenharia pedagógica, mais exacto, com as ideias de Design Instrucional e sua aplicação para análise e busca da solução para um problema instrucional que foi notado nas Aulas Laboratoriais no ensino e aprendizagem da disciplina de Física I numa instituição de Ensino Superior na Cidade de Maputo.

1.1. Design Instrucional Como Área de Conhecimento.

Design Instrucional é uma área de conhecimento versátil e é uma ferramenta que permite solucionar diversos problemas no processo de ensino e aprendizagem, através de um processo sistemático e reflexivo de tradução de princípios de funcionamento da cognição humana e aprendizagem em planeamento de processo de ensino e aprendizagem. Os pilares de Design Instrucional são teorias filosóficas e psicológicas, começando de comportamentalismo de Skinner até pós-modernismo (Mendes, 2022; Ragan, 1999).

De acordo com Smith e Ragan (1999) existem mais de 40 modelos de Design Instrucional. Neste estudo usa-se o modelo genérico proposto por estes autores.

De acordo com este modelo, a abordagem da procura de solução inicia-se a partir da análise preliminar com vista a encontrar a solução intuitiva e preparar a base para o estudo detalhado do problema com base no modelo genérico [2].

A primeira etapa do modelo genérico é a etapa de Análise, onde faz-se o estudo exaustivo do contexto de aprendizagem, grupo alvo e tarefas de aprendizagem. No fim dessa etapa, normalmente, é produzido um relatório com a descrição detalhada do contexto, estudantes e outros itens relevantes. Nessa etapa, confirma-se a existência de um problema instrucional e possível proposta de uma solução intuitiva. O principal objectivo desta etapa é reunir toda a informação contextual e pedagógico-didáctica, bem como confirmar que o problema notado é realmente um problema instrucional e não é um sintoma de algum outro problema.

Tendo terminado essa etapa, passa-se para a segunda etapa que é a etapa de Estratégia. Nessa etapa faz-se o desenho e desenvolvimento de uma nova instrução para poder sanar o problema identificado na etapa de Análise. Também nessa etapa, produz-se o protótipo da solução, que será avaliado na terceira etapa, de Avaliação. A etapa de Avaliação inclui a avaliação formativa da proposta de solução do problema e melhoramento da mesma, se for necessário.

1.2. Teoria dos Erros Como Conteúdo da Disciplina Física I.

A teoria dos erros é uma teoria que estuda os erros

que ocorrem em medições experimentais e como interpretá-los. Toda a medição tem uma incerteza associada, que expressa o desvio do valor medido. É necessário representar matematicamente os efeitos que definem as quantidades (valor médio, desvio padrão, erro absoluto, erro relativo, etc.) calculadas pela estatística. Nenhum procedimento experimental na Ciência e Tecnologia é isento dos erros. Assim, o domínio de Teoria dos Erros é importante para o estudante de um curso de Engenharia, pois ele precisa de estimar e medir.

Este artigo resulta de uma tentativa de compreender e propor a solução para um problema que vem se manifestando desde há muito tempo nas aulas laboratoriais de Física I, leccionadas para os estudantes de vários cursos de Engenharia, no Ensino Superior. O problema tem relação com a expressão de grandezas medidas no laboratório e sua interpretação.

Foi percorrida uma etapa de acordo com o modelo de Smith e Ragan (1999), antecedida pela análise preliminar que trouxe ideia sobre a solução intuitiva do problema. A solução intuitiva não é fundamentada porque se baseia nas percepções iniciais dos docentes.

II. METODOLOGIA

A metodologia adoptada neste estudo baseia-se nos princípios de Design Instrucional, seguindo o modelo genérico proposto por Smith e Ragan (1999). Embora o modelo completo inclua várias etapas sequenciais, tais como análise, estratégia, desenvolvimento e avaliação (Figura 1), neste artigo é explorada apenas a etapa de análise, por se tratar da fase que permite identificar e caracterizar o problema instrucional que motivou o estudo, bem como algumas sugestões sobre a segunda etapa.

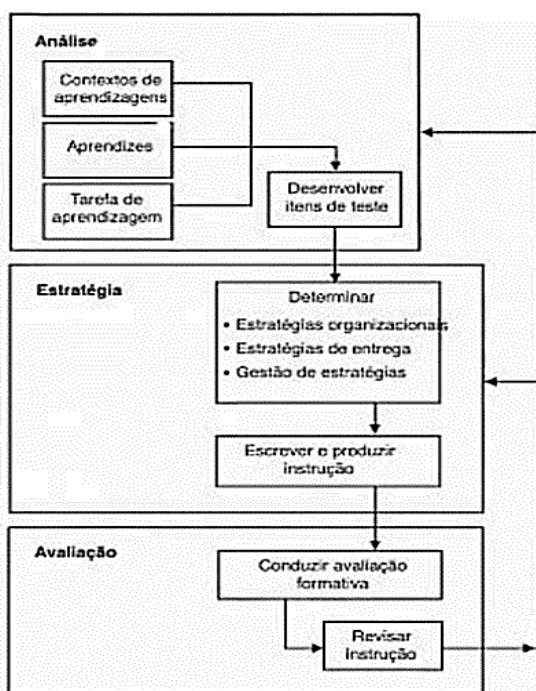


Figura 1. Modelo de Design Instrucional (adaptado de Smith e Ragan (1999)).

A escolha desta abordagem fundamenta-se no reconhecimento de que a análise constitui o elemento estruturante do processo de Design Instrucional. É nesta fase que se examinam o contexto de ensino, o grupo de estudantes e as tarefas de aprendizagem, permitindo determinar se as dificuldades observadas têm origem instrucional e quais os factores que contribuem para a sua persistência. Assim, a aplicação da etapa de análise possibilita reunir informação rigorosa que, no futuro, servirá de suporte para a elaboração de uma nova instrução ou de materiais de apoio. A análise preliminar foi realizada em três momentos. Primeiro, procurou-se confirmar se a dificuldade apresentada pelos estudantes correspondia de facto a um problema instrucional e não a um simples sintoma transitório. De seguida, identificaram-se os actores insatisfeitos e as percepções iniciais dos docentes acerca do problema. Por fim, registou-se a solução intuitiva inicialmente sugerida pelos docentes, a qual não foi fundamentada naquele momento por corresponder apenas a uma percepção anterior à análise sistemática. Depois da etapa preliminar, avançou-se para a análise formal. Nesta fase foram examinados três elementos centrais: (i) o contexto onde decorre a aprendizagem, incluindo a organização da disciplina, as características das aulas laboratoriais e as condições de trabalho; (ii) o grupo-alvo, considerando características académicas, pré-requisitos e perfis de entrada dos estudantes; e (iii) as tarefas de aprendizagem associadas à Teoria dos Erros, com particular atenção à identificação das discrepâncias entre o desempenho esperado e o desempenho demonstrado pelos estudantes.

Os dados obtidos constituem os resultados apenas da primeira etapa do modelo de Design Instrucional. As etapas subsequentes, tais como, desenho da estratégia, desenvolvimento de protótipos e avaliação, não foram realizadas e poderão ser desenvolvidas em trabalhos futuros, com base nos resultados aqui obtidos.

III. RESULTADOS

3.1. Análise preliminar ou identificação e definição do problema

Para efectivar a análise preliminar é preciso analisar três momentos:

a) Confirmação se é um problema ou sintoma do problema:

Ao realizar a actividade de avaliação formativa nas aulas de Física I que consiste em apreciação do relatório e conversa com o estudante, constatou-se que os estudantes, mesmo depois da aprendizagem sobre a Teoria dos Erros, não dominam os conteúdos da Teoria dos Erros. Os estudantes não são capazes de fazer a aplicação da teoria e em algumas vezes mostram dificuldades na interpretação de conteúdos da teoria. Este facto foi notado ainda no início de funcionamento/abertura dos cursos e persiste até ao momento que este manuscrito foi submetido. Segundo vários modelos de Design Instrucional (Smith e

Ragan, 1999), o período longo de manifestação do problema confirma que a origem do problema está no processo de ensino e aprendizagem.

b) Quem vê isso como problema e quem está insatisfeito

Na expectativa dos docentes da disciplina, os estudantes devem dominar os conteúdos da Teoria dos Erros, pois o conteúdo foi cuidadosamente apresentado nas aulas. Na prática, a maior parte dos estudantes tem insucesso de vários graus ao lidar com cálculos dos erros de medição de grandezas físicas. Portanto, a insatisfação vem do corpo docente.

c) O problema e a solução intuitiva

A análise preliminar poderá considerar uma nova instrução como a parte de solução. Esta é a solução intuitiva. Mas é necessário detalhar e argumentar essa solução. O que pode ser feito a partir da solução intuitiva? Por exemplo, utilização de novo material didáctico e introdução de novas técnicas de ensino da Teoria dos Erros na sala de aula. Outro exemplo, o leccionamento de Teoria dos Erros nas aulas teóricas, seguidas por repetição dos conteúdos pelos docentes nas aulas práticas e laboratoriais.

3.2. Aplicação do Modelo de Smith e Ragan Para a Solução do Problema

3.2.1. Etapa de análise

a) Descrição do contexto

A disciplina de Física I é leccionada aos estudantes do 1º ano dos cursos de Engenharia. A disciplina oferece aos estudantes três (3) actividades diferentes: aulas teóricas, aulas práticas e aulas laboratoriais. São todas as actividades interligadas e complementares, pois tratam o conhecimento científico da mesma área sob os diferentes ângulos e nas diversas vertentes, como, por exemplo, factual e procedimental. O problema já foi confirmado na análise preliminar. Ao longo do processo de defesas (avaliação formativa) foi verificado o fraco domínio da Teoria dos Erros, por esses estudantes.

A disciplina de Física I faz parte de disciplinas de carácter geral. É leccionada no 1º semestre, i.e., logo após o ingresso ao Ensino Superior.

A disciplina é leccionada por Grupo de Docentes, encabeçado por um regente da cadeira. O regente lecciona aulas teóricas para todos cursos, os assistentes leccionam aulas práticas e laboratoriais. Apesar de ser dividida em três blocos, a disciplina possui uma continuidade, isto é., os assuntos teóricos são trazidos para aulas práticas e laboratoriais. No plano analítico é definido o objectivo geral: dominar os conceitos teóricos e a sua aplicação na prática.

As aulas teóricas têm uma duração de 2 horas por semana (h/s), as aulas práticas têm 2 h/s e aulas

laboratoriais também 2 h/s. O problema em questão manifesta-se nas aulas laboratoriais.

O laboratório de Física I possui o equipamento necessário para execução de trabalhos previstos nos conteúdos de planos temáticos. O equipamento é operacional, isto é., funciona normalmente. Todas as experiências foram ensaiadas com antecedência pelos docentes e técnicos do laboratório.

Existe o plano de realização de trabalhos. Primeiras duas aulas laboratoriais são normalmente aulas de introdução, onde o professor dá a aula junto com técnicos do laboratório, faz a apresentação dos trabalhos e introduz noções elementares da Teoria dos Erros.

Esta actividade ocupa quatro (4) horas de tempo no total. A introdução da Teoria dos Erros é feita na forma de aula teórica, os estudantes são agentes passivos do processo de ensino, mas sempre têm possibilidades de colocarem perguntas ou dúvidas.

O professor explica os conteúdos, dá exemplos de cálculos e as vezes chama ao quadro um estudante para resolver um exercício de reforço.

A disciplina de Física I é uma das primeiras disciplinas que frequenta o estudante do novo ingresso. Em paralelo decorre o leccionamento da Matemática Geral, onde os estudantes obtêm conhecimentos gerais da matemática elementar e mais tarde limites e derivadas, na disciplina de Análise Matemática I. Sabe-se que para o sucesso na aprendizagem de Física é necessário dominar o formalismo matemático. Neste caso, as bases matemáticas ainda não são fortes e não há familiarização com métodos estatísticos.

b) Análise do grupo alvo

O grupo alvo são estudantes que ingressam ao Ensino Superior depois de terem feito ensino pré-universitário geral, poucos são provenientes de ensino técnico.

São estudantes de várias províncias de Moçambique, com preparação anterior bastante diferente, com pré-conhecimentos diferentes, domínios e estilos cognitivos diferentes. A idade dos estudantes oscila entre 18 e 30 anos, com tendência de diminuição da idade de ingresso para o ensino superior. Em termos de género, na actualidade existe a tendência de equilíbrio de género em alguns cursos. O número de estudantes por turma oscila entre 20 e 30. Para as aulas laboratoriais, o número que ultrapassa 20 estudantes considera-se excessivo e divide-se a turma em duas sub-turmas.

Para dominar com sucesso a Teoria dos Erros dentro dos conteúdos das aulas de Física I, os estudantes devem possuir alguma familiarização com conceitos de derivada e limite de funções; também devem saber fazer operações de logaritmização. Outros conceitos relevantes para o próprio cálculo são explicados pelo professor ao longo da aula. Em resumo, o aluno deve ter uma bagagem matemática forte, mas que não exceda os conhecimentos equiparados à 12ª classe.

c) Análise de discrepâncias

O modelo de discrepância em Smith e Ragan (1999)

destaca a disparidade entre “o que é” e “o que se quer”. A Tabela 1 serve de base para a análise das discrepâncias. Ela apresenta os levantamentos dos objectivos educacionais na sua forma consecutiva e demonstra a diferença entre aquilo que de facto os estudantes deveriam saber e o que eles sabem na realidade. As diferenças estão hierarquizadas. Os resultados confirmam a necessidade de uma nova instrução como parte da solução.

Tabela 1. Discrepância dos resultados da aprendizagem

RESULTADOS CORRENTES (o que é)	RESULTADOS DESEJADOS (o que deveria ser)
1. Dificuldade em definir erro sistemático e erro acidental e descrever a diferença entre eles.	1. Clara visão e boa capacidade de definição dos dois tipos de erros (sistemático e acidental), com fácil identificação de vias de minimização do erro sistemático.
2. Dificuldade na identificação de vias de minimização dos erros sistemáticos.	2. Fácil classificação de erros acidentais.
3. Dificuldade de classificar erros acidentais.	3. Definição correcta de erro absoluto e erro relativo.
4. Dificuldade em definir erro absoluto Δx e erro relativo δx e explicar a diferença entre os dois.	4. Compreensão clara das diferenças entre erro relativo e absoluto.
5. Dificuldade de escolha adequada do método para avaliação de erro	5. Escolha adequada do método para avaliação do erro: a) Nos casos de muitas repetições da mesma medição – método estatístico; b) Nos casos de poucas repetições – método de propagação do erro.
6. Dificuldade na interpretação dos erros absoluto e relativo, e sua relação com o resultado da medição: validade dos resultados da experiência, fiabilidade dos resultados.	6. Explicação clara e plausível sobre a influência de cada tipo de erro no resultado final. Avaliação válida e fiável dos resultados experimentais com base na análise do erro absoluto e relativo.
Ao escolher um dos métodos de avaliação de erro, procedimentos de cálculo errados.	Procedimentos correctos nos cálculos após a identificação do método de cálculo do erro.

d) Sobre a etapa de estratégia

A etapa de Estratégia constitui a fase seguinte do modelo de Design Instrucional e envolve um conjunto de decisões pedagógicas que definem de que forma a nova instrução deverá ser organizada, apresentada e trabalhada com os estudantes. No entanto, esta etapa não foi realizada no presente estudo, uma vez que o objectivo do artigo foi exclusivamente a identificação e caracterização do problema instrucional através da etapa de Análise. Para

avançar para a Estratégia seria necessário dispor de informação adicional, nomeadamente: definição clara das competências a desenvolver, selecção dos meios instrucionais adequados, estruturação sequencial dos conteúdos e elaboração de actividades de aprendizagem coerentes com os resultados da análise.

Nesta fase, o docente assume um papel central, pois é ele quem irá conceber a futura instrução, seleccionar métodos de ensino apropriados, definir os momentos de prática guiada e decidir como será acompanhada a evolução dos estudantes. A etapa de Estratégia exige também tempo, coordenação entre docentes e validação das propostas antes da implementação.

Os resultados da etapa de Análise apontam elementos fundamentais para a futura etapa de Estratégia, nomeadamente a necessidade de melhorar a clareza na apresentação da Teoria dos Erros, reforçar o treino em cálculos experimentais e definir formas consistentes de envolver o estudante no processo de aprendizagem. Quando a Estratégia for desenvolvida, o docente continuará a desempenhar um papel central na verificação da assimilação dos conteúdos, recorrendo à avaliação formativa das aulas, como a defesa dos relatórios laboratoriais, que fornece *feedback* imediato sobre a compreensão dos estudantes.

IV. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os resultados deste estudo correspondem à etapa de Análise do modelo de Smith e Ragan (1999), uma vez que o estudo não avançou para fases de desenvolvimento, protótipo ou implementação de uma nova instrução. A análise permitiu compreender com maior clareza a natureza do problema instrucional observado nas aulas laboratoriais de Física I

Durante as actividades de avaliação formativa, verificou-se que os estudantes continuam a apresentar dificuldades acentuadas na aplicação da Teoria dos Erros, mesmo após terem tido contacto com os conteúdos nas aulas teóricas e laboratoriais. Estes resultados mostram que os estudantes não conseguem transferir a teoria para a prática, evidenciando fragilidades tanto nos cálculos dos erros como na interpretação dos resultados experimentais. A análise também permitiu verificar que o tempo dedicado à introdução da Teoria dos Erros é reduzido, o que não favorece a consolidação dos conteúdos pelos estudantes.

A análise do contexto revelou ainda que a forma expositiva inicialmente utilizada não promove o envolvimento activo do estudante, especialmente considerando que a disciplina é leccionada no primeiro semestre, quando o domínio dos pré-requisitos matemáticos é ainda frágil. A análise do grupo-alvo confirmou a existência de grande heterogeneidade entre os estudantes, o que contribui para a dificuldade em realizar cálculos, seleccionar métodos adequados de avaliação de erros e interpretar correctamente os resultados das medições.

O aspecto central dos resultados encontra-se na análise de discrepâncias, sintetizada na Tabela 1, onde se observa uma distância significativa entre o desempenho esperado e

o desempenho real dos estudantes. As discrepâncias observadas incluem dificuldades em definir e distinguir erros sistemáticos e acidentais, calcular erros absoluto e relativo, escolher o método adequado para a avaliação dos erros e interpretar a fiabilidade dos resultados experimentais.

Quanto à solução intuitiva mencionada na fase preliminar, embora não tenha sido fundamentada no momento em que foi formulada, por se tratar apenas de uma percepção inicial dos docentes, anterior à análise sistemática, ela menciona vários aspectos que reaparecem na solução desenhada com base no Design Instrucional.

A solução intuitiva, na sua parte de descrição do problema, não aborda o modelo nem o levantamento formal de necessidades, e também não apresenta os conteúdos a serem assimilados de forma sequencial. Ainda assim, observa-se que ambas as soluções podem ser implementadas, pelo menos parcialmente.

Entre as possibilidades de implementação futura destacam-se: o leccionamento, nas aulas teóricas, de uma nova instrução estruturada segundo os resultados da análise; e a utilização rigorosa dessa instrução pelos vários docentes responsáveis pelas turmas de aulas laboratoriais. Será também necessário pensar em formas de envolver o estudante de maneira mais activa no processo de ensino e aprendizagem, tornando-o participante efectivo na compreensão e aplicação da Teoria dos Erros.

O caso apresentado caracteriza-se como “*problem driven*”, isto é, um caso induzido pela necessidade de enfrentar um problema real identificado ao longo do processo de ensino e aprendizagem. Os resultados obtidos nesta etapa de análise constituem a base para fases posteriores do modelo, ainda não desenvolvidas neste estudo.

V. CONCLUSÕES

A etapa de Análise permitiu confirmar que o problema identificado nas aulas laboratoriais de Física I é efectivamente um problema instrucional. Os factos observados mostram que:

- Os estudantes não conseguem aplicar correctamente a Teoria dos Erros, mesmo após exposição teórica;
- Há dificuldades concretas em definir erros sistemáticos e acidentais, calcular erros absoluto e relativo, escolher métodos adequados e interpretar resultados de medições;
- O tempo reduzido dedicado à introdução da Teoria dos Erros e o formato expositivo inicial não favorecem a compreensão;
- Existe grande heterogeneidade no grupo-alvo e fragilidade no domínio de pré-requisitos matemáticos;
- A Tabela 1 evidencia discrepâncias claras entre o desempenho esperado e o desempenho real.

Com base nestes factos, a etapa de Análise cumpriu o seu objectivo principal: reunir informação suficiente para compreender o problema e confirmar que ele não é um

simples sintoma, mas uma falha instrucional que requer reorganização da instrução. O caso pode ser considerado como “*problem-driven*”, pois resulta directamente da necessidade de responder a um problema real e persistente identificado no processo de ensino e aprendizagem da Teoria dos Erros. Assim, esta fase conclui o diagnóstico do problema e estabelece uma base sólida para o desenvolvimento posterior de uma instrução mais adequada ao ensino da Teoria dos Erros, considerando os resultados da Análise: (1) reorganização da instrução; (2) adopção de práticas pedagógicas alternativas às actuais; e (3) melhoria da gestão do processo de ensino e aprendizagem.

REFERÊNCIAS

Mendes, M. (2022) Design Instrucional na prática. Editora UNION. Disponível em <chrome-extension://efaidnbnmnibpcjpcglclefindmkaj/https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/701471/2/Design%20Instrucional%20na%20pr%C3%A1tica.pdf>

Smith, P.; Ragan T.J. (1999) Instructional Design. *Wesley*.