

<http://dx.doi.org/10.23925/1983-3156.2024v26i3p216-242>

**Um modelo epistemológico de referência em cálculo e cinética de reações químicas**

**An epistemological model of reference in calculus and kinetics of chemical reactions**

**Un modelo epistemológico de referencia en el cálculo y la cinética de las reacciones químicas**

**Un modèle épistémologique de référence dans le calcul et la cinétique des réactions chimiques**

José Vieira do Nascimento Júnior<sup>1</sup>  
Universidade Estadual de Feira de Santana  
Doutor em Química  
<https://orcid.org/0000-0001-5220-7984>

Geciara da Silva Carvalho<sup>2</sup>  
Universidade Estadual de Feira de Santana  
Doutora em Educação Matemática  
<https://orcid.org/0000-0002-0474-5558>

### **Resumo**

Retomamos neste artigo discussões acerca da aplicação do Cálculo Diferencial e Integral no Ensino de Cinética Química na formação de Professores. Aspectos voltados para a demonstração de enunciados mediante resolução de tarefas em um percurso de estudos e pesquisas como uma estratégia visando à apropriação de conceitos no domínio da cinética de reações, no âmbito de atividades embasadas na Teoria Antropológica do Didático (TAD), especificamente, a partir dos modelos epistemológicos de referência e o dominante em torno do objeto leis de velocidade de reação química. Ao longo do percurso foi evidenciada a importância e razão de ser de técnicas do Cálculo Integral e Diferencial para a formação docente e a formulação de organizações didáticas que possam servir de suporte para tarefas no exercício da profissão, no Ensino Médio, destacando o uso de instrumentos das TIC, a exemplo do Excel, na construção dessas tarefas. Foi observado que ao longo do percurso os estudantes compreenderam os passos propostos no modelo epistemológico de referência ao cumprirem uma tarefa crucial, associada à questão geradora do percurso, que necessariamente aplica técnicas de integração e diferenciação para a obtenção de equações diferenciais ordinárias, associada à técnica de análise do método dos mínimos quadrados, para a caracterização cinética

---

<sup>1</sup>[jvjunior@uefs.br](mailto:jvjunior@uefs.br)

<sup>2</sup>[geciara@uefs.br](mailto:geciara@uefs.br)

de um sistema químico, um medicamento na simulação da determinação experimental de seu prazo de validade.

**Palavras-chave:** Formação de professores, Cinética química, Cálculo.

### **Abstract**

In this article, we resume discussions about the application of Differential and Integral Calculus in the Teaching of Chemical Kinetics in Teacher Training. Aspects aimed at demonstrating statements through the resolution of tasks in a course of studies and research as a strategy aimed at appropriating concepts in the domain of reaction kinetics, in the context of activities based specifically on the Anthropological Theory of the Didactic (ATD), based on epistemological models of reference and the dominant one around the object speed laws of chemical reaction. Along the way, the importance and reason for being of Integral and Differential Calculus techniques for teacher training and the formulation of didactic organizations that can serve as support for tasks in the exercise of the profession in high school were highlighted, highlighting the use of instruments of ICT, such as Excel, in the construction of these tasks. It was observed that throughout the course the students understood the steps proposed in the reference epistemological model by completing a crucial task, associated with the question that generated the course, which necessarily applies integration and differentiation techniques to obtain ordinary differential equations, associated with the technique analysis of the least squares method, for the kinetic characterization of a chemical system, a medicine in the simulation of the experimental determination of its expiration date.

**Keywords:** Teacher training, Chemical kinetics, Calculation.

### **Resumen**

En este artículo retomamos las discusiones sobre la aplicación del Cálculo Diferencial e Integral en la Enseñanza de la Cinética Química en la Formación Docente. Aspectos orientados a demostrar enunciados a través de la resolución de tareas en un curso de estudios e investigaciones como estrategia encaminada a apropiarse de conceptos en el dominio de la cinética de reacción, en el contexto de actividades basadas en la Teoría Antropológica de la Didáctica (TAD), concretamente basados en modelos epistemológicos de referencia y el dominante en torno a las leyes de velocidad del objeto de la reacción química. En el recorrido se resaltó la importancia y razón de ser de las técnicas de Cálculo Integral y Diferencial para la formación docente y la formulación de organizaciones didácticas que puedan servir de apoyo a las tareas en el ejercicio de la profesión en la escuela secundaria, destacando el uso de

instrumentos de Las TIC, como Excel, en la construcción de estas tareas. Se observó que a lo largo del curso los estudiantes comprendieron los pasos propuestos en el modelo epistemológico de referencia al completar una tarea crucial, asociada a la pregunta que generó el curso, la cual necesariamente aplica técnicas de integración y diferenciación para la obtención de ecuaciones diferenciales ordinarias, asociadas a la técnica. análisis del método de mínimos cuadrados, para la caracterización cinética de un sistema químico, un medicamento en la simulación de la determinación experimental de su fecha de caducidad.

**Palabras clave:** Formación del profesorado, Cinética química, Cálculo.

### **Résumé**

Dans cet article, nous reprenons les discussions sur l'application du calcul différentiel et intégral dans l'enseignement de la cinétique chimique dans la formation des enseignants. Aspects visant à démontrer des énoncés à travers la résolution de tâches dans un cours d'études et de recherche comme une stratégie visant à s'approprier des concepts dans le domaine de la cinétique de réaction, dans le cadre d'activités basées sur la théorie anthropologique de la didactique (TAD), à savoir, basée sur des modèles épistémologiques de référence et celui dominant autour des lois de vitesse des objets de la réaction chimique. Au cours du parcours, on a souligné l'importance et la raison d'être des techniques de calcul intégral et différentiel pour la formation des enseignants et la formulation d'organisations didactiques pouvant servir de support aux tâches dans l'exercice de la profession au lycée, en soulignant l'utilisation d'instruments de Les TIC, comme Excel, dans la construction de ces tâches. Il a été observé que tout au long du cours, les étudiants ont compris les étapes proposées dans le modèle épistémologique de référence en accomplissant une tâche cruciale, associée à la question qui a généré le cours, qui applique nécessairement des techniques d'intégration et de différenciation pour obtenir des équations différentielles ordinaires, associées à la technique analyse par la méthode des moindres carrés, pour la caractérisation cinétique d'un système chimique, d'un médicament dans la simulation de la détermination expérimentale de sa date de péremption.

**Mots-clés :** Formation des enseignants, Cinétique chimique, Calcul.

## **Um modelo epistemológico de referência em cálculo e cinética de reações químicas**

Trazemos nesse estudo observações realizadas em classe no âmbito de um projeto de formação de professores de Química num curso de Licenciatura em química da Universidade Estadual de Feira de Santana, Uefs, desde 2019, no qual, um dos objetivos é tratar de questões relacionadas ao ensino da disciplina Físico-Química e a integração da webbing (TIC – tecnologias da informação e comunicação para a educação) (Trouche; Drijvers, 2014), com destaque para o domínio das leis da cinética de reações químicas.

Ressaltamos que, a integração que se realizou no estudo visou resolver tarefas como encontrar uma função a partir de técnicas do Cálculo como a diferenciação e integração que pudesse servir para a caracterização química de um sistema cuja composição varia no tempo. As interações entre os estudantes e o percurso de ensino conduzido ao longo de um semestre letivo foram objeto de estudo durante um semestre letivo e objeto de análise didática numa perspectiva metodológica inspirada na modelagem segundo o referencial da TAD (Chevallard, 2020). As situações foram criadas tendo como base a modelagem na Química onde as equações diferenciais ordinárias (EDO) são o ponto de partida para a sua construção. Portanto, as bases epistemológicas do cálculo diferencial e integral vão justificar a temática deste artigo, que apela para praxeologias fundamentadas em processos de diferenciação e integração como elemento central.

A interdisciplinaridade requerida nesse percurso serve ao propósito de uma formação conjunta entre Química, Matemática e Webbing, e suscita algumas questões que guiaram a nossa investigação: como propor tarefas que contemplem esses três domínios; quais são as adaptações a serem propostas no currículo; um ensino da Matemática mais focado na Química seria uma alternativa? Essas questões convergem para outras tantas: quais são as lacunas cognitivas dos estudantes que serão reveladas ao longo do processo formativo, a partir do contato com objetos da cinética química? quais obstáculos epistemológicos estão envolvidos? e, como a virtualidade poderia contribuir para uma formação mais efetiva em Química?

Diante dessas considerações, propomos um marco teórico como ferramenta de interpretação e caracterização dos modelos epistemológicos envolvidos na formação de professores.

### **Marco teórico-metodológico: a modelagem antropológica do objeto cinética de reações químicas**

O que é um modelo? Segundo Willett (2012), o termo *modelo* é utilizado usualmente em ciências e levanta questões filosóficas, históricas e epistemológicas importantes. Ele é

muitas vezes fonte de confusão mesmo quando devesse ser um ponto de ancoragem e um guia para os que praticam a pesquisa científica. As soluções a uma problemática servem também de modelo (Willett, 2012), ou seja, às vezes um modelo é percebido e entendido como sendo uma teoria.

Isso se dá porque não só os termos paradigma e teoria se apresentam diante de certos problemas. Os modelos também apresentam essa característica (Willett, 2012). Desse debate surge uma teoria da didática que tem no processo de modelagem uma epistemologia própria que se opõe aos problemas que existem no ensino meramente formal (Barquero et al., 2011).

Nesse sentido, a partir do levantamento de uma problemática que questiona *o que temos que ensinar em termos de Cálculo aos estudantes de Química? Como podemos utilizar as TIC de forma a potenciar a aplicação de técnicas do Cálculo? Quais são as técnicas do Cálculo que devemos explorar com os estudantes na construção de significados em um domínio da Química – a Cinética de Reações?*

A partir dessas reflexões, optamos por uma modelagem centrada na teoria das *praxeologias* (Chevallard, 2020) para esclarecer o que é essencial para o entendimento desse problema docente, propondo reformulações em termos de razão de ser de certos conteúdos matemáticos na formação química. Assim, nos inspiramos em Barquero et al. (2011, p. 554), quando eles propõem a busca de organizações didáticas que favoreçam a integração da modelagem no ensino das Matemáticas e Ciências físicas, em “oposição ao ensino meramente formal e desarticulado da matemática no ensino superior” (Fonseca Bon; Gascón; Lucas, 2014, p. 8).

As ideias de ciência e teoria implícitas nesse tipo de modelagem extrapola aquelas do *stricto sensu*. Assim, Chevallard (2020) se inspira em Louis Bourdeau quando adota o termo *praxeologia* e o aplica às práticas de modelagem que fazem parte de *uma ciência ainda em formação*, a Didática.

Nesse sentido, o interesse da praxeologia não são os objetivos da ação, mas a própria ação, independentemente das circunstâncias. Isso significa que o foco são os meios e não os fins – o foco da atenção na praxeologia está na ação humana [*anthropos* em grego], isto é, o indivíduo atuante. A partir desse princípio, Chevallard gera teoremas e registros de meios, que lhe permitem desenvolver uma análise dos processos de ação.

Um ensino pautado na perspectiva acima descrita nos faz levantar um problema de investigação: *como formular um modelo didático que possibilite a integração disciplinar global, a partir de experimentações locais para a formação de professores de Química?*

Na construção da resposta a esse problema, a modelagem praxeológica pode ser articulada entre o Cálculo e a Química, segundo o paradigma do questionamento do mundo (Chevallard, 2020), cuja face didática se traduz num “*percurso de estudos e pesquisa - PEP -*, que se organiza em torno de um *modelo praxeológico de referência* (MPR) do professor” (Otaki, 2022, p. 19; Gascón; Nicolás, 2019) Vale ressaltar que as praxeologias servem tanto ao estudo do objeto – praxeologias didáticas - quanto à investigação em torno das relações entre os sujeitos e entre eles e o objeto de estudo nas instituições. Temos aqui, praxeologias de investigação, cujo plano de fundo é a *transposição didática* de determinado objeto. Vejamos os detalhes da modelagem em curso.

Em determinada instituição de referência, *I*, a modelização praxeológica em torno de um objeto do saber, *O*, remete ao primeiro teorema da Teoria Antropológica do Didático - TAD - assim expresso por Yves Chevallard:

1. Toda prática institucional pode ser analisada de diferentes maneiras em um sistema de tarefas relativamente bem circunscritas, que se estrutura no decorrer dessa prática (Bosch; Chevallard, 1999, p. 5)

De acordo com este postulado, as práticas de ensino são passíveis de modelagem. Isso se faz mediante a execução de tarefas, o que nos remete ao 2º postulado da TAD:

2. O cumprimento de toda tarefa resulta em implementar uma técnica (Bosch; Chevallard, 1999, p. 5).

Este postulado nos leva à previsão de técnicas utilizadas para a construção de um modelo epistemológico voltado para o ensino de conceitos – no caso aqui, técnicas próprias do Cálculo e, por conseguinte, aplicáveis na resolução de tarefas da Química, de acordo com a posição institucional de cada ator do sistema didático.

No tocante aos aspectos ligados à *razão de ser* dessas técnicas e das condições e restrições para a implementação de um modelo praxeológico. Aqui, de modo específico, voltado para um conjunto de tarefas que buscam a conceitualização no campo domínio da cinética química. Por isso, remetemos ao 3º postulado da TAD, que versa sobre a ecologia das tarefas e suas respectivas técnicas, tecnologias e teorias:

3. Um discurso justificativo das tarefas e técnicas, requer uma tecnologia, que, por sua vez, precisa de uma justificativa, chamada de teoria da tecnologia, que é sua base. Isto quer dizer que em dada instituição existe uma técnica integrada e justificada, que garante a eficácia da tarefa e deve ser passível de controle e participação de vários atores institucionais.

Em síntese, podemos representar esse modelo praxeológico de análise segundo um esquema, Herbaciano, onde  $\wp = \text{praxeologia}$ ,  $T = \text{tipo de tarefas}$ ,  $\tau = \text{técnica}$ ,  $\theta = \text{tecnologia}$  e  $\Theta = \text{teoria}$ . Desse modo

$$\wp = (T, \tau, \theta, \Theta)$$

Através desse esquema podemos modelar a vida dos objetos voltados para o ensino; esse objeto vive numa instituição, de onde se destacam suas dimensões epistemológica, econômica e ecológica, quando detectamos um problema docente em seu entorno.

Assim, podemos destacar dois modelos epistemológicos analisados neste estudo, caracterizados a partir da abordagem praxeológica acima mencionadas, ou seja, o de referência e o dominante.

### **Caracterização dos modelos epistemológicos: o modelo de referência**

Nesta investigação o modelo epistemológico de referência (MER) deu origem a um PEP composto de elementos conceituais que atendem à dimensão epistemológica do problema didático em torno do objeto de ensino. Neste modelo evidenciamos as relações de dependência entre as variáveis cinéticas e o *habitat* da cinética química em objetos do cálculo e da química se alimentam mutuamente (Almouloud, 2022; Chevallard, 1999) e se organizam em torno de um saber de referência. Assim vejamos.

A Cinética de Reação Química descreve a dependência da concentração no tempo: experimentalmente se obtêm leis empíricas que nos fornece as leis de velocidade; outra consequência importante da cinética é o estabelecimento das relações que indicam a reversibilidade de uma reação [*reagentes (R)  $\rightleftharpoons$  produtos (P)*], que nos ajudam a elucidar o mecanismo de uma reação, cujas inferências esclarecem o estado de equilíbrio de reação em que  $R \rightleftharpoons P$ ; a partir do *método diferencial e pelo operador integral* se obtém a ordem,  $n$ , de uma reação química, cuja cinética é representa por uma EDO na forma exponencial; uma consequência desse processo é a obtenção da constante de velocidade,  $k$ , que vai compor a lei cinética na forma de potência; a partir do método integral também se obtém a forma integrada da EDO que nos permite estabelecer a dependência entre a velocidade e a temperatura, e consequentemente, a determinação da *energia de ativação* da reação, quando comparamos condições diferentes de reação. Essa síntese do MER se encontra no mapa conceitual da Figura 1.

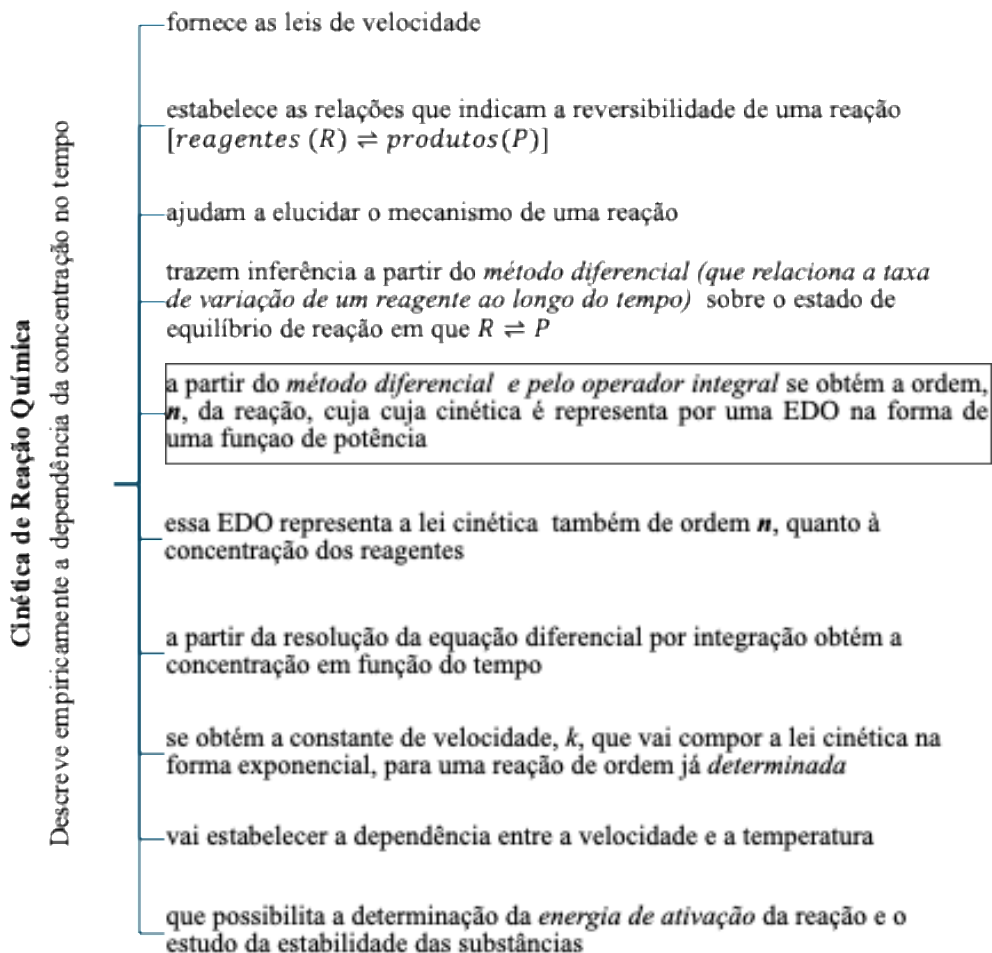


Figura 1.

*Modelo epistemológico de referência da cinética química (parte I) (os autores)*

Em torno do *método diferencial* (conceito central) organizamos o segundo mapa conceitual: a medição da velocidade no início da reação é a base empírica da aplicação deste método; se considera que a velocidade não varia nessas condições.

O método experimental é aplicado a partir da definição de derivada de uma função da concentração dependente do tempo,  $t$

$$C = C(t) \text{ e } C'(t) = v \text{ (velocidade) para } \Delta t \rightarrow 0$$

$$v = C'(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{C(t + \Delta t) - C(t)}{\Delta t}.$$

Se esse limite existir,  $C'(t) \rightarrow \infty$  no início da reação, entretanto, se mantém constante. Esse é a síntese do método das velocidades iniciais mostrado na Figura 2 em formato de mapa conceitual.



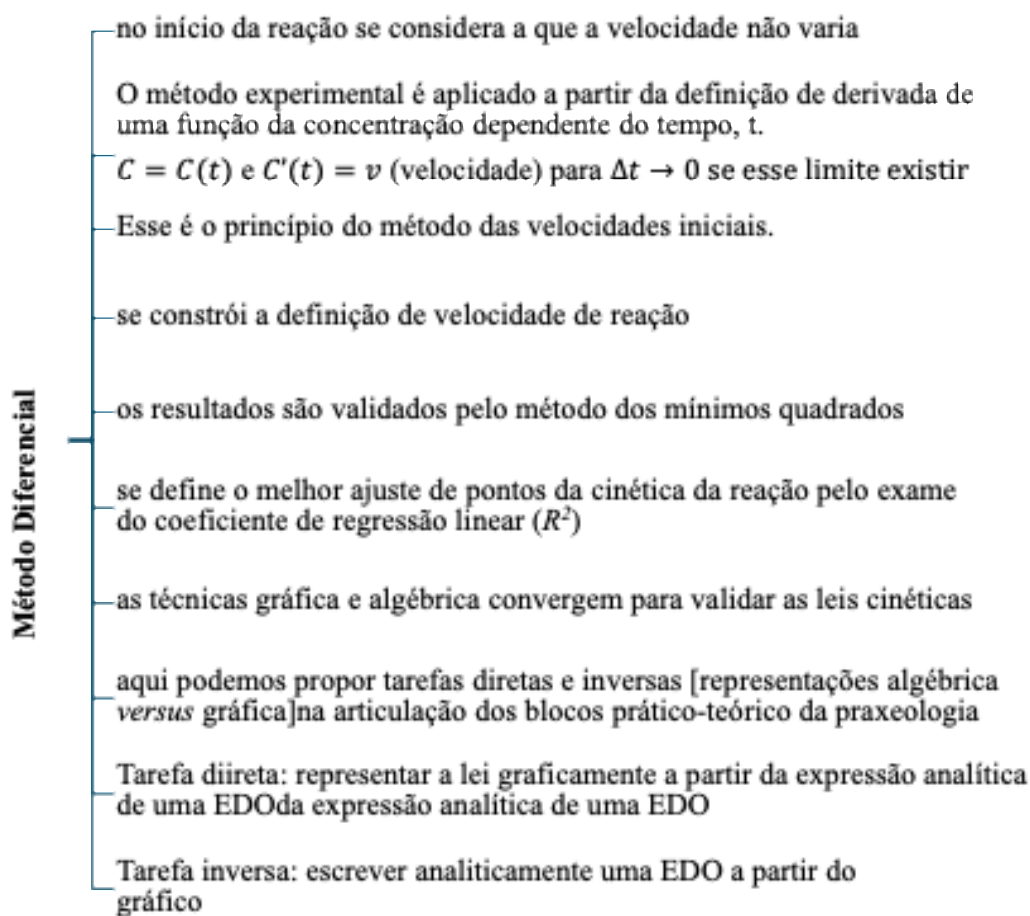


Figura 2.

*Modelo epistemológico de referência da cinética química (parte II) (os autores)*

É a partir dessas premissas que se constrói a definição de velocidade de reação como uma praxeologia: as tarefas mais comuns vão envolver são as técnicas da diferenciação e integração; os resultados decorrentes do tratamento dos dados cinéticos são validados pelo método dos mínimos quadrados; este nos ajuda a definir o melhor ajuste de pontos da cinética da reação pelo exame do coeficiente de regressão linear ( $R^2$ ) desses dados.

Nesse sentido, o software Excel se integra ao modelo para validação do experimento ao fornecer o coeficiente de regressão linear dos pontos da relação concentração em função do tempo em que as técnicas gráfica e algébrica convergem para validar as leis de velocidade.

Assim, podemos propor tarefas diretas e inversas nos quadros algébrico e gráfico, que interconectam os blocos prático-teórico da praxeologia  $[T, \tau] \rightleftharpoons [\theta, \Theta]$ :

$T_{direta}$ : representar a lei graficamente a partir da expressão analítica de uma EDO

$T_{inversa}$ : escrever analiticamente uma EDO a partir do gráfico

Note que são possíveis uma infinidade de relações entre grandezas cinéticas como velocidade de reação, velocidade específica, ordem de reação, bem como noções como molecularidade e as teorias do estado de transição e das colisões moleculares (TCM), dentre outras etc., o que nos indica diversos caminhos ou organizações didáticas alternativas. Como precisamos delimitar o nosso estudo, vamos focar nas condições e restrições institucionais que tornem a materialização de um PEP que seja possível, agregando também nossa análise do modelo epistemológico dominante na instituição de pesquisa.

### **O modelo epistemológico dominante**

O modelo epistemológico dominante (MED daqui em diante) pode ser caracterizado a partir de alguns elementos institucionais, previstos na escala de níveis de codeterminação (Chevallard, 2020) tais como a Base Nacional Comum Curricular - BNCC (Brasil, 2017), o projeto político pedagógico da instituição de ensino (PPP), o livro didático e a esfera social, que determinam as relações professor/conhecimento/aluno.

Na BNCC se recomenda expressamente a cinética de reação como um *setor* de estudos, de acordo com o nível 3 da escala de codeterminação (CHEVALLARD, 2002b, p. 49 *apud* ALMOULOUD, 2022). Isso indica que uma análise ecológica desse objeto pode ser feita a partir da análise dos níveis,  $n$ , inferiores da disciplina ( $n \leq 5$ ), que abarca o domínio, setor, *tema*, assunto ( $n = 4, 3, 2, 1$ , respectivamente). Em particular, há uma equivalência entre elementos desses níveis inferiores:

$$n = 1 \Leftrightarrow \textit{tarefa}; n = 2 \Leftrightarrow \textit{técnica}; n = 3 \Leftrightarrow \textit{tecnologia}; n = 4 \Leftrightarrow \textit{teoria},$$

sendo os níveis 2, 3 e 4 direcionados ao professor e o nível 1 direcionado ao estudante. Resumidamente, o tema está relacionado às diversas organizações praxeológicas correspondentes aos diversos tipos de tarefas, técnicas, tecnologias e teorias necessárias à formação de professores, mas também para a sua atuação na Escola Básica no contato com o aluno (Brasil, 2017).

A escala hierárquica dos níveis de codeterminação didática e respectivos níveis em ordem decrescente. De acordo com Chevallard (2020) e adaptação de Silva (2017, p. 24). Esses níveis estão interrelacionados:

$$\textit{civilização} (9) \Rightarrow \textit{sociedade} (8) \Rightarrow \textit{escola} (7) \Rightarrow \textit{pedagogia} (6) \Rightarrow \\ \textit{disciplina} (5) \Rightarrow \textit{domínio} (4) \Rightarrow \textit{setor} (3) \Rightarrow \textit{tema} (2) \Rightarrow \textit{assunto} (1).$$

É a partir das inter-relações internas entre esses níveis que se revelam as condições e restrições ao funcionamento do ecossistema didático (Chevallard, 1999)

No PPP do curso de formação de professores em Química da Uefs se recomenda a Cinética como componente curricular já a partir da disciplina *Introdução às Transformações da Matéria* no 2º semestre. Junto a isso, uma disciplina teórico-prática específica *Físico-Química III*, no 7º semestre, se dedica exclusivamente à Cinética Química, adicionando na sua ementa os setores Catálise Heterogênea, Catálise Homogênea e Adsorção.

Os professores oriundos deste curso de Licenciatura em Química curso deverão ensinar na área de Ciências da Natureza na Educação Básica. Na sua atuação profissional, o futuro professor deverá contextualizar os conceitos em cinética a partir de problemas cuja representação de variação de concentração no tempo [taxa de reação] possa ser verificada nos quadros algébrico e gráfico. Essa abordagem contribui para o desenvolvimento habilidades como reconhecer reações químicas no aluno, assim codificadas: EM 22CN06 (Brasil, 2017). Saber representar, identificar e calcular grandezas cinéticas mediante experimentos simples, manipulando variáveis que podem modificar a velocidade de uma reação, definidos parâmetros como temperatura, pressão, superfície de contato, concentração e presença de catalisadores são habilidade que se espera dominadas pelo aluno no Ensino Médio e estudantes do Ensino Superior, de acordo com o nível de aprofundamento, mediante a devida transposição didática em cada caso.

Além disso, o perfil requerido para o futuro professor, exige que ele tenha compreensão da Química como Ciência e domínio de conhecimentos específicos, requer compreensão de problemas em torno de conceitos, leis e princípios da Química e conheça as propriedades físicas e químicas dos principais elementos da tabela periódica, substâncias simples e compostos, além de possibilitar, entender e prever o seu comportamento físico-químico, aspectos de reatividade, mecanismos de reação e estabilidade das substâncias.

Diante da matematização que envolve a elaboração de problemas com conteúdos químicos, o estudante deve desenvolver habilidades epistêmicas tais como a capacidade de refletir sobre a sua própria forma de pensar e na confrontação de respostas com o contexto gerador do problema. Por isso, se recomenda o ensino do Cálculo articulado com a Química através da construção e exploração de tarefas específicas para os objetos da Cinética Química (Brasil, 2017, p. 133; Skoog et al., 2006).

A razão de ser do Cálculo Diferencial e Integral se justifica devido à natureza matemática das definições e conceitos da cinética.

Desse modo, o processo de matematização é inerente à execução das tarefas em torno dos objetos da Cinética de Reações. Esse processo enfrenta uma restrição que Barquero *et al.* (2007) nomeiam como o fenômeno do aplicacionismo no ensino das matemáticas, ou seja, a

separação entre os ensinamentos das matemáticas e das ciências experimentais que se verifica nesta e em outras instituições.

Outras restrições no nível da sociedade e da escola de um modo geral, como a *purificação epistemológica*. De modo mais radical, a matemática se mantendo independente das outras disciplinas, a prevalência da lógica dos modelos [o ensino da matemática seguindo a lógica dedutivista] e o ensino das ferramentas básicas da matemática sempre anterior à sua aplicação, são restrições que se contrapõem ao desejável ensino articulado outras disciplinas com o Cálculo, embora na disciplina de Cálculo I da Uefs - pré-requisito - à disciplina dedicada à Cinética, se recomende o tópico “Aplicações” na ementa do componente de Cálculo I, essa desarticulação existe e se manifesta nos anos finais da formação de professores.

Diante desse quadro, fazemos uma recomendação para a inclusão do tópico Análise Dimensional nas tarefas, além de dar ênfase às grandezas, quantidades, unidades e dimensões, presentes nos fundamentos algébricos do Cálculo Relacional com ampla aplicação nas Ciências Experimentais como Química e Física (Vergnaud, 2006), o que aproximaria a matemática e das ciências experimentais.

Nesse sentido, uma modelagem praxeológica em torno das variáveis cinéticas e suas técnicas, é imprescindível a articulação entre Química e Matemática a partir da inclusão de tarefas do âmbito do Cálculo no modelo epistemológico dominante na instituição de referência desse estudo. Desse modo, se pode construir um “*ecosistema*” curricular (Chevallard, 1999; 2020, p. 46), onde as técnicas de diferenciação e integração serviriam de “alimento” para o tema cinética de reações, o que indica que o cálculo deveria “viver” de forma estável, alimentando e contribuindo para que a sua sobrevivência ajude a dar significado aos conceitos químicos, vinculando os blocos prático-técnico  $[T/\tau]$  e teórico-tecnológico  $[\theta/\theta]$  de organizações praxeológicas químico-matemáticas.

Essas recomendações são observadas nos livros didáticos de Química Universitária adotados e se constituem nas bases analíticas deste MED no sentido da elaboração de um MER que vai guiar o PEP a ser aqui descrito.

Para atender a uma complexa articulação entre os domínios do cálculo e a cinética optamos, dentre muitos caminhos, pelo da construção e execução de tarefas em torno dos objetos,  $O$ , ou praxeologia,  $\wp$ , há que considerar o universo objetual  $\Omega(u)$  e o equipamento cognitivo  $\Gamma(u)$  adequados ao objeto, tanto dos professores,  $Y$ , quanto dos estudantes,  $X$ . O universo objetual dos atores na instituição  $\Omega(u)$  é definido como uma praxeologia cuja relação entre o sujeito e esse objeto não é vazia. Além disso, o equipamento praxeológico  $\Gamma(u)$  se define

como uma praxeologia cuja relação entre o sujeito e esse objeto não é vazia e onde essa praxeologia pertence ao universo objetual do sujeito na instituição em análise. Finalizamos por ora a não presencialidade na formação que descrevemos nesta pesquisa. Isso decorreu do isolamento social necessário ao enfrentamento da epidemia da Covid-19, que afetou mundialmente o sistema de ensino, portanto, houve uma restrição importante em nível da humanidade,  $n = 9$  na escala de codeterminação didática (Chevallard, 2020).

Formalmente  $\Omega(u) \stackrel{\text{def}}{=} \{o/R(u, o) \neq \emptyset\}$  e  $\Gamma(u) \stackrel{\text{def}}{=} \{(o, R(u, o) \neq \emptyset / o \in \Omega(u))\}$ ; essas relações de pertencimento são:  $\Omega^\blacklozenge(u) \stackrel{\text{def}}{=} \{\wp/R(u, \wp) \neq \emptyset\}$  e  $\Gamma^\blacklozenge(u) \stackrel{\text{def}}{=} \{\wp, R(u, \wp) / \wp \in \Omega^\blacklozenge(u)\}$ ; em que  $\Omega^\blacklozenge(u) \stackrel{\text{def}}{=} \{\wp/R(u, \wp) \neq \emptyset\}$  quer dizer universo praxeológico, o qual é por definição igual a uma praxeologia tal a relação de uma dada instancia  $\mu$  com essa praxeologia não é vazia.  $\Omega^\blacklozenge(u) \subset \Omega(u)$  quer dizer que o universo praxeológico da instância está contido no universo objetual dessa instância, e  $\Gamma^\blacklozenge(u) \subset \Gamma(u)$ , em que o equipamento praxeológico do sujeito pertence ao equipamento cognitivo  $\Gamma(u)$  desse sujeito/ator, de acordo com o que se espera do sujeito/ator na instituição em termos de suas relações com o conhecimento.

No próximo capítulo, demonstramos como se desenvolve dedutivamente as definições de velocidade, ordem de reação e outras definições da Cinética – o conjunto de conhecimentos aqui em questão.

### **Cinética de reação química**

Iniciemos com uma demonstração de como a dependência da composição de um sistema no tempo pode ser descrita por uma lei de velocidade. No desenvolvimento de uma equação cinética em química buscamos uma derivada, que representa a taxa de variação da concentração do reagente com o tempo, fornecendo a base para a equação diferencial da lei cinética. A diferenciação vai expressar pequenas mudanças na concentração e no tempo, compondo a equação diferencial, e a integração serve para se resolver a equação diferencial, proporcionando a função que descreve como a concentração dos reagentes e produtos varia ao longo do tempo (Leithold, 1994, p. 463). Feitas as considerações iniciais do cálculo, mostremos os processos de diferenciação e integração pode ser trabalhado no contexto interdisciplinar na cinética de reações químicas.

Consideremos que estamos tratando de sistemas fechados e homogêneos, com estequiometria definida, de acordo com o modelo proposto por Connors (1990) e Atkins (2010), que definem *avanço da reação*,  $\xi$ , acima mencionado,

$$\xi = \frac{n_i - n_0}{\nu_i}$$

em que  $\nu_i$  é o número estequiométrico,  $n_i^0$  como a quantidade molar de substância num tempo específico ( $t = 0$ ) e  $n_i$  em um momento qualquer ( $t$ ).

Generalizando, temos

$$\xi = \frac{\Delta n_i}{\nu_i} \Leftrightarrow \Delta n_i = \nu_i \xi.$$

Diferenciando a equação acima membro a membro pelo tempo, podemos definir a variação da quantidade de substância no tempo como a velocidade da reação, portanto, fica  $d\xi/dt$ , ou

$$\frac{d\xi}{dt} = \frac{1}{\nu_i} \frac{dn_i}{dt}$$

Na cinética de soluções, normalmente trabalhamos com sistemas em volume constante, e achamos conveniente empregar unidades de concentração *molar*. Dividindo ambos os lados da equação pelo volume  $V$ , se obtém

$$\frac{d(\xi/V)}{dt} = \frac{1}{\nu_i} \frac{dc_i}{dt} = v$$

pois

$$\frac{1}{\nu_i} \frac{dn_i/V}{dt} = \frac{1}{\nu_i} \frac{dc_i}{dt} = v$$

onde  $v$  é a velocidade de reação por unidade de volume e  $c_i$  é a concentração molar de uma  $i$  – éxima substância. Normalmente  $v$  é chamada de taxa de reação, ou velocidade de reação.

Note que o sinal de  $v$  indica que ela é sempre uma quantidade positiva, por convenção. Essas considerações são válidas para reações moleculares, que ocorrem uma única etapa. Para reações no mundo real, em laboratório, precisamos levar em conta que o processo é mais complexo. Para entendê-lo vejamos como se faz o tratamento dos dados empíricos em experimentos. Para isso alguns conceitos devem ser apropriados: velocidade, constante cinética, ordem de reação etc.

### **Determinação da constante cinética, $k$ e ordem, $n$ pelo método experimental das velocidades iniciais**

Numa síntese sobre as formas das leis cinéticas, a forma diferencial da equação de velocidade pode ser vista a partir de duas notações para a concentração molar, portanto,  $C_A \equiv C_i$ . Vejamos

$$v = \pm \frac{dC_i}{dt} \quad (1),$$

que permite chegar à forma integrada ao igualar a equação (1) com a forma de potência da lei cinética, tomando como referência o reagente A, na forma de uma função polinomial, equação (2) que é uma lei determinada empiricamente, que nos permite determinar a constante de velocidade,

$$v = kC_A^n \quad (2)$$

$$-\frac{dC_A}{dt} = kC_A^n \Leftrightarrow \frac{dC_A}{C_A^n} = -kdt \quad (3)$$

$$\text{ou } C_A^{-n}dC_A = -kdt$$

sabendo que

$$\int_1^2 x^{-n} dx = \frac{x_2^{-n+1} - x_1^{-n+1}}{-n+1}$$

podemos chegar à forma integrada. Feita a separação das variáveis seguindo de integração entre limites resulta em

$$\int_1^2 C_A^{-n} dC_A = -k \int_1^2 dt \quad (4)$$

$$\frac{C_A^{-n+1} - C_{A,0}^{-n+1}}{-n+1} = -kt \quad \text{para } n \neq 1$$

$$\left(\frac{C_A}{C_{A,0}}\right)^{-n+1} = 1 + C_{A,0}^{n-1}(n-1)kt \quad \text{para } n \neq 1 \quad (4),$$

que é uma fórmula geral.

Ou, para  $n = 1$ :

$$-\frac{dC_A}{dt} = kC_A \quad (3)$$

$$\int_{C_{A,0}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A} = -k \int_0^t dt$$

$$\ln\left(\frac{C_A}{C_{A,0}}\right) = -kt \Leftrightarrow \ln C_A - \ln C_{A,0} = -kdt$$

$$\Leftrightarrow C_A = C_{A,0}e^{-kt}$$

se  $n = 1$ .

A reação acima descrita é de ordem 1. Isso pode ser visto a partir da representação gráfica dos dados cinéticos conforme a lei cinética [ $n = 0, 1, 2, \dots$ ]. A linearização dos pontos nesses casos é uma poderosa ferramenta matemática no intuito de obtermos os parâmetros

cinéticos. Isso pode ser obtido facilmente pelo aplicativo Excel. Daí a inserção deste recuso como uma ferramenta didática.

As ordens e unidades das constantes cinéticas,  $k$ , para diferentes leis cinéticas são mostradas na tabela 1. Observe que nesse modelo temos uma reação entre os A e B.

Os dados da tabela 1 refletem reações molecular, que ocorrem em uma única etapa no mecanismo de uma reação química. Na prática nem tudo é perfeito como na tabela 1. Um pesquisador pode obter a dispersão dos pontos no gráfico, sendo necessário ajustar ponto obtido no experimento, de acordo a cinética da reação.

Como veremos adiante, devemos ter cuidado com essa técnica da linearização de pontos, pois o tempo de reação será uma variável importante nessa análise - um tempo muito curto pode levar à confusão entre as ordens 0 e 1, por exemplo, inviabilizando a conclusão a respeito de seu regime cinético (Ball, 2005). Essas operações envolvem uma articulação matemática complexa até mesmo para estudantes no final da graduação.

Tabela 1.

*As ordens e unidades das constantes cinéticas,  $k$ , para diferentes leis (McQuarrie & Simon, 1997, p. 1140)*

| Lei de velocidade   | Ordem        | Unidades de $k$              |
|---------------------|--------------|------------------------------|
| $v = k$             | 0            | $dm^{-3}.mol.s^{-1}$         |
| $v = k[A]$          | 1            | $s^{-1}$                     |
| $v = k[A]^2$        | 2            | $dm^3.mol^{-1}.s^{-1}$       |
| $v = k[A][B]$       | 1 em [A]     |                              |
|                     | 1 em [B]     | $dm^3.mol^{-1}.s^{-1}$       |
|                     | global = 2   | $dm^{-3/2}.mol^{1/2}.s^{-1}$ |
| $v = k[A]^{1/2}$    | 1/2          |                              |
| $v = k[A][B]^{1/2}$ | 1 em [A]     |                              |
|                     | 1/2 em [B]   | $dm^{3/2}.mol^{-1/2}.s^{-1}$ |
|                     | global = 3/2 |                              |



A construção e aplicação de um modelo que possa alterar o currículo pela adoção de um ensino interdisciplinar, que contemple uma abordagem a construção e resolução tarefas, matematizando fenômenos cinéticos, aliado à inserção da *webbing*, contribui para uma formação docente e o desenvolvimento de conceitos. Essa hipótese foi proposta neste MER e testada pelo percurso de estudo e pesquisa a seguir descrito, a partir de seus objetivos, descrição e análise praxeológica do mesmo.

### **Objetivo geral do percurso e descrição geral do percurso**

O objetivo geral é formar professores em torno de situações em cinética química, que articule técnicas do Cálculo, apoiadas na *webbing*.

A escolha desses gestos foi guiada pelo saber científico que nos indica a resposta a questão inicial, que está no campo da cinética, ou seja,  $Q_0$ : “como a pureza de um material varia no tempo?”. Numa praxeologia de investigação, foram propostas propomos repostas a três “grandes perguntas” que seguem:

- Como estudar os tipos de leis cinéticas?

O conteúdo necessário abordado para responder a essa pergunta é a definição formal das leis de velocidade, equação cinética na forma integrada, tempo de vida de um reagente e constante e parâmetros cinéticos. Para isso, o estudante necessita de mobilizar técnicas do cálculo diferencial e integral. Um dos objetivos de aprendizagem é obter a lei cinética que é uma função de uma única variável,  $C = C(t)$ .

- Como analisar graficamente dados cinéticos obtidos experimentalmente?

O conteúdo necessário abordado para responder a essa pergunta é a resolução (gráfica e algébrica) de equações de velocidade. A esse respeito, destacamos o desenvolvimento de algumas questões complementares, que foram momentos-chave, reveladores de técnicas mobilizadas nas tarefas que seguem.

- Como integrar recursos de web via simulação experimental e tratamento dos dados cinéticos?

O aplicativo *titrAB* e o software Excel, cujas características e implicações foram discutidas em (Nascimento Júnior *et al.*, 2018; 2019) foram utilizados por Y ao ensinar a noção de equilíbrio químico ácido-base; assim, o tratamento de dados cinéticos que auxiliaram na algebrização e na construção das representações gráficas já eram conhecidos de X.

Os conteúdos abordados e necessários para responder a  $Q_0$  foram as construções dos gráficos, dedução e resolução das equações e a busca de um coeficiente angular de uma reta, tanto graficamente quanto algebricamente.

## Experimentação

A pesquisa aqui relatada se trata de um recorte de período maior de investigação, que teve início em março de 2019 (fase de elaboração da investigação) e teve seu final previsto para fevereiro de 2023, no Departamento de Ciências Exatas da Uefs. Neste recorte o período de abrangência se deu ao longo de um semestre letivo, cada aula teórico-prática tendo quatro (04) horas de duração num total de 60 horas/aula, no semestre letivo de fevereiro de 2021 a julho de 2021, através da através da plataforma Google e [www.schoology](http://www.schoology). Participaram sete (07) futuros professores de química. Foram previstas aulas presenciais, o que não foi possível devido à persistência da pandemia da Covid-19 durante o semestre.

As análises didáticas foram realizadas a partir dos dados gerados. Elas foram estruturadas em praxeologias e análise de erros, a depender da teoria que melhor explicasse os fenômenos observados no percurso. Em ambas as etapas (remota e presencial) se previu a formação tecnológica através de práticas que incorporam recursos da web como nas tarefas: titulação simulada, tratamento de dados, construção de tabelas, determinar cinética por linearização de pontos, dentre outros, a partir do uso dos recursos digitais: computador, plataformas, acesso à internet, Office 2019, data-show, o software [www.titrAB.fr](http://www.titrAB.fr). Caso houvesse possibilidade de aulas presenciais, esses materiais – integrantes do *milieu* -, se estenderiam a vidrarias, potenciômetro de *pH* e reagentes químicos:  $\text{CH}_3\text{COOH}$  e  $\text{NaOH}$ .

## Resultados

A implantação do PEP, de acordo com três momentos didáticos: do encontro com o objeto, exploradas as tarefas e se iniciou a elaboração de técnicas e o da elaboração do discurso teórico, mediante articulação entre os blocos do saber e saber fazer.

1º momento: o encontro em ambiente on-line, se iniciou com uma abordagem epistemológica do objeto cinética, sua origem na Física e sua estrutura conceitual na Química. Para iniciar os estudantes na dialética de perguntas e respostas, o professor propôs uma Tarefa ( $t_1$ ) aos estudantes a buscar questões que reflitam o caráter cinético de um fenômeno natural: resposta segundo a técnica de busca na web foram apresentadas pelos estudantes e discutidas do ponto vista da cinética.

As respostas vieram na forma de perguntas, das quais destacamos duas:

$r_1$ : *quanto de H se transforma em He por segundo no Sol?*

$r_2$ : *quanto de matéria se processa a cada segundo no Sol?*

Em  $r_1$  a técnica adotada foi adotada como uma resposta encontrada no site: “nossa estrela é capaz de converter átomos de hidrogênio em hélio, e os números são incríveis: a cada segundo, o Sol funde cerca de 600 milhões de toneladas de hidrogênio em hélio, convertendo parte dessa massa em energia, na forma de ondas eletromagnéticas, como os raios gama.” [https://www.google.com.br/search?]

A técnica e a tarefa se confundem, assim como a pergunta e resposta. Num nível inicial da modelagem funcional inicial, podemos buscar “materializar em modelos que se expressam mediante funções isoladas de uma variável e as correspondentes equações (e inequações) associadas” (Ruiz-Munzón et al., 2011, apud Fonseca Bon et al., 2016, p. 11).

Para  $r_2$ : quanto de matéria se processa a cada segundo no Sol?

Foi encontrada a seguinte explicação: “ao todo, o Sol consome cerca de 4 milhões de toneladas de sua massa por segundo, uma taxa mais do que suficiente para mantê-lo brilhando pelos próximos 6 ou 7 bilhões de anos, devido à sua grande massa, que é de aproximadamente 1,98.1031 kg, mais de 330 mil vezes a massa da Terra.” [https://brasilecola.uol.com.br/fisica/sol].

Este momento oportunizou a criação de um modelo matemático que represente uma situação matemática que represente a situação problema. Dele propusemos uma questão  $Q_0$ , que atendeu a um requisito básico de um PEP – que seja uma questão com alto grau de generalidade, mas que seja científica (Lucas, 2015), por exemplo,  $Q_0$ : “*como a pureza de um material varia no tempo?*”.

Diríamos que, mediante o uso de técnicas didáticas (Chevallard, 1999 apud Fonseca Bom et al. 2015), podemos estimular os estudantes a buscar suas próprias questões em diferentes meios. Desse modo, a identificação de questões de uma dada ciência seja uma habilidade a ser desenvolvida. Assim propusemos uma questão que descreva a evolução temporal da concentração de um medicamento até atingir o prazo de validade. Essa questão, mais específica, foi  $Q_1$ .

$Q_1$  Segundo procedimentos do FDA, o prazo de validade (limite máximo de tempo para o uso de um medicamento) deve corresponder a 90% do teor de princípio ativo indicado no rótulo do produto.

De acordo com essa informação e baseado num estudo cinético da estabilidade do Paracetamol comercial, cujos dados constam na Tabela 2, “*determine o prazo de validade deste medicamento*”.

O objetivo deste percurso foi desenvolver nos estudantes, praxeologias ligadas ao tema através da habilidade de elaborar perguntas que praxeologias que ajudem a encontrar a respostas

$R^\heartsuit$  à pergunta  $Q_0$ , desenvolvendo desta forma o seu equipamento praxeológico ao praticar a dialética de perguntas e respostas no objeto de estudo.

A totalidade dos estudantes participaram das aulas munidos de *smart-phones* e três por computador. Eles utilizaram os softwares [www.titrAB.fr](http://www.titrAB.fr) - para simular titulação ácido-base -, Excel® e o editor de texto Office para a construção dos gráficos.

Durante a aplicação do modelo didático, fizemos um levantamento das perguntas derivadas da pergunta geradora  $Q_0$ , destacando que ao longo do processo construímos um mapa  $Q - R/map$  (de perguntas e respostas) que mostra como se chega à resposta  $R^\heartsuit$ , da  $Q_0$ .

Nesse sentido, os estudantes tentaram buscar caminhos para resposta  $R^\heartsuit$ , através da dialética de perguntas e respostas formulando respostas provisórias,  $R^\diamond$ .

Neste momento o professor também propôs uma pergunta derivada da pergunta inicial, a pergunta  $Q_1$ : “Segundo procedimentos do FDA<sup>3</sup>, o prazo de validade (limite máximo de tempo para o uso de um medicamento) deve corresponder a 90% do teor de princípio ativo indicado no rótulo do produto.

De acordo com a informação acima e baseado num estudo cinético da estabilidade do Paracetamol comercial, cujos dados constam na Tabela 2, determine o prazo de validade deste medicamento”. O objetivo desta atividade foi desenvolver nos estudantes, praxeologias ligadas ao tema através da habilidade de elaborar perguntas que praxeologias que ajudem a encontrar a respostas  $R^\heartsuit$  à pergunta  $Q_0$ , desenvolvendo desta forma o seu equipamento praxeológico ao praticar a dialética de perguntas e respostas no objeto de estudo.

Tabela 2.

*Dados cinéticos da decomposição do paracetamol puro. (Adaptado de David Ball, 2005, p. 724).*

| Tempo/<br>month | [A]/mmo<br>IL <sup>-1</sup> | Ln<br>[A] | (1/[A])/(mmol <sup>-1</sup> L) |
|-----------------|-----------------------------|-----------|--------------------------------|
| 0               | 2,719                       | 1,000     | 0,368                          |
| 1               | 2,612                       | 0,960     | 0,383                          |
| 2               | 2,586                       | 0,950     | 0,387                          |
| 3               | 2,509                       | 0,920     | 0,399                          |
| 4               | 2,459                       | 0,900     | 0,407                          |
| 10              | 2,138                       | 0,760     | 0,468                          |
| 15              | 1,855                       | 0,618     | 0,539                          |
| 20              | 1,664                       | 0,509     | 0,601                          |
| 25              | 1,448                       | 0,370     | 0,691                          |
| 30              | 1,276                       | 0,244     | 0,784                          |

<sup>3</sup> <http://www.portalação.com.br/estabilidade-de-medicamentos-rdc-318/prazo-de-validade>.  
Educ. Matem. Pesq., São Paulo, v. 26, n. 3, p. 216-242, 2024

Para se chegar à resposta  $R^\heartsuit$  para a questão  $Q_0$ , um dos caminhos vem da busca da resposta a  $Q_1$ . Nesse percurso é necessário o estudante mobilizar conhecimentos de cinética de reações. São conceitos e definições que possibilitam compreender a complexidade da resposta e uma das causas é o processo de matematização envolvido na formulação de definições como velocidade ou lei cinética ( $v$ ), ordem de reação ( $n$ ) - que corresponde à ordem de uma EDO e velocidade específica ( $k$ ) – também chamada de velocidade específica. Um dos desafios é lidar as unidades, grandezas, quantidades e unidades desses entes químicos. A técnica que recomendamos na manipulação algébrica é a *Análise Dimensional* (Vergnaud, 2006).

Dentre as tarefas propostas no encontro com a organização praxeológica com fins de mudança na relação  $R_I(X,o)$  destacamos a seguir:

$t_a$ : demonstrar algebricamente como a velocidade e a temperatura se relacionam na reação de hidroxilação radicalar do clorobromometano,  $HO \bullet + CH_2BrCl \rightarrow Produto$ . Os dados cinéticos de  $t_a$  são

| Ensaio | $T/^{\circ}C$ | $k10^{13}/cm^3moléculas^{-1}s^{-1}$ |
|--------|---------------|-------------------------------------|
| 1      | 393,6         | 6,91                                |
| 2      | 127,0         | 2,54                                |
| 3      | 24,6          | 1,11                                |

$t_{a,1}$ : determinar o valor da Energia de Ativação da reação,  $E_A$ , em  $Jmol^{-1}$  explorando a reta obtida.

$t_{a,1,1}$ : organize uma tabela contendo as variáveis  $lnk$  e  $1/T$ .

$t_{a,1,2}$ : com o auxílio do Excel organize uma tabela com as variáveis cinéticas e represente-as num gráfico de  $lnk$  em função de  $1/T$ .

$t_b$ : a partir do gráfico no Excel obtenha a equação da reta, seu coeficiente angular e estime os valores da energia de ativação e do fator pré-exponencial de Arrhenius (A) para a reação. A escolha da técnica foi livre.

#### **A tarefa $t_b$ serviu como gerador de tarefas ao optarmos pela tarefa $t_{b1}$**

$t_{b1}$ : a partir do gráfico no Excel obtenha a equação da reta, seu coeficiente angular e estime os valores da energia de ativação e do fator pré-exponencial de Arrhenius (A) para a reação. A escolha da técnica é livre.

$t_c$ : construir uma curva de titulação ácido-base no [www.titrAB.fr](http://www.titrAB.fr) e comparar com a curva feita no Excel a partir de dados empíricos. Compare as duas técnicas: a do titrAB -  $\tau_{TIT}$  e a do Excel -  $\tau_{Excel}$ .

$t_d$ : a partir dos dados empíricos, represente graficamente o modelo de adsorção de ácido acético em carvão ativado

Ainda no segundo momento, foram exploradas as tarefas e se iniciou a elaboração de técnicas para resolver dado tipo de tarefa

Para executar  $t_{a,1}$  foram manipuladas as técnicas algébrica e do Excel:  $\tau_a$  e  $\tau_E$

Em  $t_{a,1,1}$  foi mobilizada a técnica  $\tau_E$ , em que o aplicativo Excel foi usado para representar no plano cartesiano a função  $\ln k$  em função de  $1/T$ .

Em  $t_{b1}$ , a técnica algébrica foi a única possível - temos neste caso uma praxeologia pontual.

Para cumprir  $t_c$ , foram comparadas as duas técnicas: a do titrAB -  $\tau_{TIT}$  e a do Excel -  $\tau_{Excel}$ , a partir de dados empíricos.

No cumprimento de  $t_d$ , foram manipuladas as técnicas algébrica e do Excel:  $\tau_a$  e  $\tau_E$  além da elaboração de um protocolo experimental para inferirmos a respeito do modelo de adsorção do ácido acético em carvão ativado. Os achados nessa praxeologia abrem perspectivas para o avanço na modelagem catalítica heterogênea.

Terceiro momento: dentre as tarefas elaboradas, destacamos aquela de cunho genuinamente tecnológico, a tarefa  $t_c$ . Sua técnica, pela simulação no titrAB -  $\tau_{TitrAB}$  foi utilizada para elaborar protocolos de experiências nesse aplicativo. A curva ácido-base e outros dados da página do aplicativo encontra-se na Figura 1. A elaboração do protocolo possibilita a realização de titulações *in loco* - pela técnica  $\tau_{Excel}$  e método volumétrico no laboratório de experimentos quando as aulas ainda eram presenciais em laboratório químico. A partir da análise das duas curvas obtidas e das respectivas técnicas foi possível estabelecer os discursos das técnicas e avaliar o bloco teórico/tecnológico  $[\theta/\Theta]$  que justificou as duas técnicas  $[\tau_{TitrAB}/\tau_{Excel}]$ , empregadas na execução da tarefa  $t_c$  como sendo ao menos organizações praxeológicas pontuais - *OPP* - técnicas diferentes para uma mesma tarefa,  $[t_1, \tau_{TitrAB}, \theta_1, \Theta]$  e  $[t_1, \tau_{Excel}, \theta_1, \Theta]$ , formando uma *OPL*  $[t_1, \tau_{1i}, \theta_1, \Theta]$  (Almouloud, 2015).

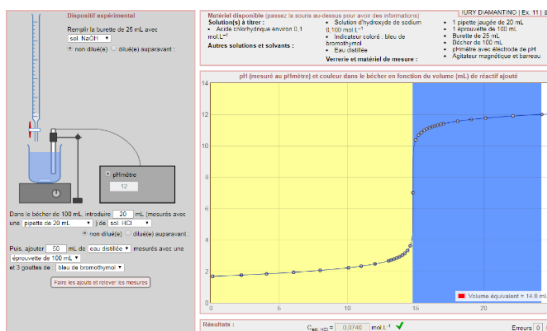


Figura 3.

*Simulation of titration of acetic acid,  $CH_3COOH$  with  $NaOH$  in titrAB.fr*

A partir da tarefa  $t_c$  foi observado que os estudantes mobilizaram duas técnicas volumetria de neutralização: a técnica on-line do titrAB.fr e a técnica volumétrica. Para realizar esta o simulador forneceu informações que possibilitou a elaboração do protocolo de experimento. Nesse sentido, conhecimentos prévios de química como a lei da diluição da titulação e da equivalência volume concentração no ponto final da titulação foram mobilizados. Isto ficou evidente nos relatórios - no pré-cálculo - ao utilizarem a relação  $C_1V_1 = C_2V_2 = k$  (constante); [C = concentração molar; V = volume em mL; 1: solução ácida; 2: solução básica], além de se expressarem usando conceitos das teorias de ácido base (Arrhenius, Bronsted-Lowry, Lewis).

Esses achados revelam que houve articulações entre os blocos técnico [t/τ] e teórico [θ/Θ] na execução de  $t_c$ . A presença de conceitos e definições como força ácida e básica, pH e concentração molar, além da noção de ponto de equivalência e neutralização foi presente em 85,6% das respostas dos alunos confirma que a técnica  $\tau_{TitrAB}$  favoreceu o acesso a esses elementos teóricos na produção dos protocolos e relatórios.

**A busca da resposta à questão geradora do PEP**

Na busca de  $R^\heartsuit$  formulamos mais questões derivadas além de  $q_1$ ; elaboramos  $q_2, q_{1,1}, q_{1,2}, etc.$  Na Figura 4 se encontram as praxeologias provisórias,  $R^\diamond$ , colocadas por estudantes.

Essa construção coletiva nos ajudou na construção de tarefas cujas respostas serviram de elementos de análise e reflexão teórica acerca da evolução do universo objeto dos estudando ao longo do semestre. A partir dos dados da Figura 4 é possível construir

- $q_{1,1}$ : como se define e determina a ordem ( $n$ ) da reação de decomposição do Paracetamol?
- $q_{1,2}$ : qual é o significado físico da constante de velocidade ( $k$ )?

q<sub>2</sub>: como é possível determinar a constante de velocidade da reação?  
 q<sub>2,1</sub>: como posso determinar o prazo de validade desse medicamento t<sub>90</sub>, em meses, a partir dos valores de k e n?

Figura 4.

*Síntese com a pergunta geradora e as derivadas do percurso*

um mapa de perguntas e respostas [Q-A/map], obtido a partir dos dados do percurso.

O caminho para encontrar a resposta a Q<sub>1</sub> passou pela linearização dos pontos da Tabela 2 no plano da concentração molar do reagente [Paracetamol] versus tempo em segundos. Os pontos foram processados no software Excel. Segundo a ordem de reação de EDO integrada, projetamos três possibilidades de ordem [n = 0, 1 ou 2], de acordo com a Figura 1. A curva que apresentou o melhor ajuste de pontos, isto é, o coeficiente de regressão linear [R<sup>2</sup> = 0,9992] o mais próximo de 1, que corresponde a uma EDO de 1ª ordem, se a ordem de reação, n = 1.

A representação gráfica, obtida com o auxílio do aplicativo Excel, na Figura 5, segue.

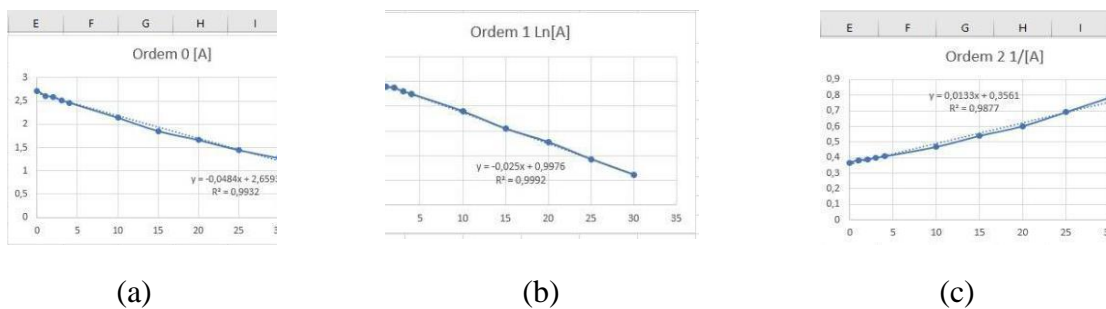


Figura 5.

*Resposta dos estudantes a Q<sub>1</sub>: representação gráfica de EDO de ordem 0, 1 e 2, respectivamente*

Uma das aplicações das EDO que merece destaque é da questão derivada Q<sub>1</sub> a respeito da reação de decomposição de um medicamento até atingir o seu prazo de validade. A respeito dela, a unanimidade dos estudantes concluiu, corretamente, que a lei de velocidade que melhor se ajusta aos pontos é de 1ª ordem. Assim a resposta a Q<sub>1</sub> fica

$$\ln\left(\frac{C_A}{C_{A,0}}\right) = -kt \Leftrightarrow \ln C_A - \ln C_{A,0} = -kt_{0,9}$$

Substituindo para t<sub>0,9</sub>, vem

$$\ln 0,9 - \ln 1 = -0,025t_{0,9} \Rightarrow t = \frac{-(0,105 + 0)}{-0,025} = 4,21 \text{ meses.}$$



4,21 meses como prazo de validade do medicamento, em que a constante cinética  $k = 0,025s^{-1}$  é fornecida diretamente pelo Excel.

Os elementos algébricos e gráficos nessa praxeologia nos revelam que a resposta esperada foi alcançada. Isso denota uma relação com o objeto não vazia  $R(u, o) \neq \emptyset$  as praxeologias pessoais foram satisfatórias, de acordo com as condições e restrições presentes na instituição.

### Considerações finais

A organização didática proposta permitiu estudar uma questão inicial de um PEP, em os estudantes devem mobilizar técnicas do cálculo com conceitos e definições em Cinética Química. Um argumento em favor da organização didática foi a coerência requerida para tratar completamente uma questão  $Q_0$ , recorrendo a revisões, aprofundamentos, levantando perguntas relacionadas à questão, busca da resposta em diversas fontes, mobilizando diversos recursos na *webbing*, construindo técnicas que levem à da resposta  $R^\heartsuit$ , sem perder de vista o todo.

A utilização dos recursos digitais foi crucial para dar continuidade à formação dos professores de química. Embora houvesse restrições quanto às condições de ensino, por exemplo, o curto período na disciplina de Cinética Química. Porém, o percurso foi um momento de aprendizado para esses futuros professores quanto à inserção da web na sala de aula.

As praxeologias desenvolvidas no PEP atenderam a um dos objetivos do estudo é proporcionar uma razão de ser das técnicas do Cálculo na construção de significado químico a objetos como velocidade específica, ordem e equilíbrio de reação, dentre outros.

Notamos que uma organização dos blocos  $[t/\tau]$  e  $[\theta/\Theta]$  envolvidos no tópico da Química e a organização didática posta em prática se ajustou satisfatoriamente às condições e restrições apontadas no MED. Isso ficou evidenciado pela transposição didática do objeto Cinética Química demonstrada na resolução da questão  $Q_1$ , derivada de  $Q_0$ , o que não seria possível sem mobilizar as técnicas de diferenciação e integração nas praxeologias químico-matemáticas.

Essa organização permitiu igualmente ver que as técnicas expressas nas representações gráficas, algébricas, tabelas etc., se complementam, respeitando o domínio de validade de cada uma delas pelos futuros docentes.

Estes, foram receptivos em atuarem num ambiente praxeológico em que as organizações didáticas em torno dos mais variados objetos da Química.

Nesse sentido, a escolha por um modelo epistemológico de referência que resultou em um modelo didático materializado num PEP adaptado a um cenário ecológico com as características acima apontadas, como a do aplicacionismo. Isso mostrou que é possível romper

com um modelo de ensino onde as disciplinas estão isoladas e internamente desarticuladas, o que evidenciou a razão de ser do Cálculo Diferencial e Integral na formação em Química. Nesse sentido, a opção teórica advinda da ATD foi essencial para melhor compreender as condições do ensino podem favorecer relações  $X - Y - O$  na formação em Cinética Química.

### Referências

- Almouloud, S. Ag. (2015). Teoria Antropológica do Didático: metodologia de análise de materiais didáticos. *Revista Iberoamericana de de Educación Matemática, UNION*, n. 42, p. 09-34.. ISSN: 1815-0640. Noviembre 2015.
- Almouloud, S. A. (2022). Fundamentos da Didática da Matemática. 2ª ed. revisada e ampliada. Curitiba: Ed. UFPR. 344p. ISBN 978-65-87448-76-3.
- Atkins, P. De Paula, J. (2010). *Físico-Química*. Rio de Janeiro: LTC, 2010.
- Ball, D. W. (2005). *Físico-Química*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, ISBN 85-221-0417-5, 2005.
- Barquero, B., Bosch, M., Gascón, J. (2011). *Ecología de la modelización matemática: los recorridos de estudio e investigación*. Documents. Aportaciones de la teoría antropológica de lo didáctico: Un panorama de la TAD. Marianna Bosch et al. (Orgs), Centre de Recerca Matemàtica CRM: Barcelona, pp. 553-577. Access online: ISSN 2014-2331.
- Bosch, M., Chevallard, Y (1999) La sensibilité de l'activité mathématique aux ostensifs. *Recherche en Didactique des Mathématiques*. 19(2), 77-124.
- Brasil, Ministério da Educação (2017). *Base Nacional Comum Curricular: Educação é a Base*. Disponível em: [http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC\\_EI\\_EF\\_110518\\_-versaofinal\\_sit e.pdf](http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/BNCC_EI_EF_110518_-versaofinal_sit e.pdf).
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en the'orie anthropologique du didactique. *Recherches en Didactique des Mathématiques*, 19, 221–266.
- Chevallard, Y. (2020). Some sensitive issues in the use and development of the anthropological theory of the didactic. *Educ. Matem. Pesq.*, São Paulo, v.22, n. 4, pp. 013-053. Access by <http://dx.doi.org/10.23925/1983-3156.2020v22i4p013-053>. Lecture presented at the 6th International Congress on the Anthropological Theory of Didactics - CTAD6 in Autrans, Grenoble, France, January 23th, 2018.
- Connors Kenneth. A. (1990). *Chemical Kinetics: the study of reaction rates in solution*. Wisconsin - Madison: John Wiley & Sons, Inc.
- Fonseca Bon, C., Gascón Pérez, J., & Oliveira Lucas, C. (2014). Desarrollo de un modelo epistemológico de referencia en torno a la modelización funcional. *Revista Latinoamericana de Investigación en Matemática Educativa, RELIME*, 17(3), 289-318.
- Gascón, Josep, Nicolás, Pedro. (2019a). Research ends and teaching ends in the anthropological theory of the didactic. In *For the Learning of Mathematics*, 39(2), 42–47].
- Leithold, Louis. (1994). *O cálculo com geometria analítica*, v. 1, 3ª ed. editora Harbra, Ltda. São Paulo, S.P., Brasil.

- Lucas, Catarina O. (2015). *Una posible «razón de ser» del cálculo diferencial elemental en el ámbito de la modelización funcional*. Tesis ddoutoral defendida el día 18 de diciembre de 2015, en la Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Vigo. España.
- Nascimento Jr, J.V., Carvalho, E.F., Farias, L.M.S. (2018). Creation of innovative teaching situation through instrumental genesis to maximize teaching specific content: acid-base chemical balance. In: V. Gitirana, T. Miyakawa, M. Rafalska, S. Soury-Lavergne, & L. Trouche (Eds.). *Proceedings of the Re(s)ources 2018 international conference*. May 2018, Lyon, France. 400p, 2018, <https://resources-2018.sciencesconf.org/>. <hal-01764563v3> .
- Nascimento Jr, J.V. et al. In: Drijvers, P. et al. (2019). Chapter 12: *Transitions Toward Digital Resources: Change, Invariance, and Orchestration*. In: Trouche L., Gueudet G., Pepin B. (eds) *The 'Resource' Approach to Mathematics Education. Advances in Mathematics Education*. pp. 389-444. Springer, Cham. Online ISBN 978-3-030-20393-1. DOI [https://doi.org/10.1007/978-3-030-20393-1\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-20393-1_12).
- Otaki, Koji. (2022). The paradidactic: a theory of noospheres, In: Planary tals paper, In CITAD7: 7th International Conference on the Anthropological Theory of the Didactic congress, 19-23 Jun 2022, Bellaterra, Barcelona (Spain). Acesso em: <https://citad7.sciencesconf.org>.
- Silva, Rita Cinéia Menezes. (2017). A integração de construtos didáticos à prática docente: a malamática para operar com a aritmética básica. (2017). Dissertação de mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências das Universidades Federal da Bahia e Estadual de Feira de Santana.
- Skoog, Douglas. A.; West, Donald. M., Holler, F. James., Crouch, S. R. (2006) *Fundamentos de Química Analítica*. Título original: *Fundamentals of analytical chemistry 6*. Reimpr. a 1 ed. de 2006., trad. Marco Tadeu Grassi. Cengage Learning: São Paulo, Brasil. ISBN 85-221-0436-0.
- Trouche, L; Drijvers, P. (2014). Webbing and orchestration. Two interrelated views on digital tools in mathematics education. *Teaching Mathematics and Its Applications*. Oxford, v. 33, 193-209, 2014.
- Vergnaud, G. *A criança, a matemática e a realidade: problemas do ensino da matemática na escola elementar*. Tradução Maria Lúcia Faria Moro; revisão técnica Maria Tereza Carneiro Soares. – Curitiba: Ed. da UFPR, 2009, 322p.
- Willett, Gilles. (2012). « Paradigme, théorie, modèle, schéma : qu'est-ce donc ? », *Communication et organization [En ligne]*, 10 | 1996, mis en ligne le 26 mars 2012, consulté le 11 septembre 2024. URL: <http://communicationorganisation.revues.org/1873>; DOI: 10.4000/communicationorganisation.1873.