



## Uma proposta didática para o ensino de análise quantitativa em cromatografia em papel no curso de Licenciatura em Química

**Patrícia Valderrama**

UTFPR – Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná,  
Campo Mourão-Paraná

**Brasil**

patriciav@utfpr.edu.br  
pativalderrama@gmail.com

**Karla Karine Beltrame**

UTFPR – Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná,  
Campo Mourão-Paraná

**Brasil**

**Karen Priscila de Lima**

UTFPR – Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná,  
Campo Mourão-Paraná

**Brasil**

**Deisiane Aparecida da Silva**

UTFPR – Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná,  
Campo Mourão-Paraná

**Brasil**

**Lídia Damasceno Ribeiro**

UTFPR – Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná,  
Campo Mourão-Paraná

**Brasil**

**Maykon Rodrigues Alves**

UTFPR – Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná,  
Campo Mourão-Paraná

**Brasil**

**Natalia Neves Macedo**

**Deimling**

UTFPR – Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná,  
Campo Mourão-Paraná

**Brasil**

**Abstract:** Due to the development of technological equipments on last decades, paper chromatography has being done only to qualitative purposes. Nonetheless, to teaching situations in which those equipments are not available it is possible to use paper chromatography as a quantitative technique. Therefore, this study aims to discuss a proposal to the qualitative analysis teaching by using paper chromatography to higher education. In order to develop the project, an experimental problematizing activity involving students from teaching degree from a Brazilian Federal University was carried out. This activity development provided skills on theoretical-practical managing besides the development of a problematizing teaching which allowed for discussions over related contents, among other issues, the paper chromatography, the separation mechanism, intermolecular interactions, mobile and stationary phases and qualitative and quantitative analysis, which transposes a pure mechanical and technical teaching. Throughout the process, the students were also motivated to analyze and evaluate the best way to work on these issues in a teaching-learning situation to chemistry for basic education.

**Resumo:** Com o avanço tecnológico dos equipamentos nas últimas décadas, a cromatografia em papel passou a ser utilizada apenas para análises qualitativas. Todavia, em situações de ensino em que tais equipamentos não estão disponíveis, é possível realizar a análise quantitativa a partir da cromatografia



em papel. Assim, o presente trabalho tem por objetivo discutir uma proposta didática para o ensino de análise quantitativa em cromatografia em papel no ensino superior. Para o desenvolvimento dessa proposta foi realizada uma atividade experimental problematizadora com alunos de um curso de Licenciatura em Química de uma Universidade Federal. O desenvolvimento dessa atividade possibilitou tanto a articulação entre teoria e prática quanto para o desenvolvimento de um ensino problematizador que permitisse abordar conteúdos relacionados, entre outros aspectos, à cromatografia em papel, ao mecanismo de separação, às interações intermoleculares, aos tipos de fase móvel e estacionária e à análise qualitativa e quantitativa, tendo em vista a superação de um ensino puramente técnico e mecânico. Ao longo de todo o processo os alunos também foram motivados a analisar e avaliar a melhor maneira de se trabalhar tais conteúdos em uma situação de ensino-aprendizagem na disciplina de química da educação básica.

**Palavras-chave:** cromatografía, enseñanza de la química, análisis cuantitativo, cromatografía, ensino de química, análise quantitativa, chromatography, chemistry teaching, quantitative analysis.

## INTRODUÇÃO

Há muito tempo, métodos de separação de substâncias têm sido elaborados e utilizados pelo homem. No século XIX, cientistas já utilizavam diferentes sólidos para auxiliar na remoção de alguns componentes ou no fracionamento de líquidos. Ainda nesse século, Schönbeim e Goppelschröder introduziram métodos de separação feitos em tiras de papel com desenvolvimento ascendente (COLLINS, 2009). Os métodos cromatográficos foram evoluindo e se modificando ao longo da história e, atualmente, graças ao desenvolvimento do microcomputador e da microeletrônica estão disponíveis equipamentos com alta capacidade de separação, tais como os equipamentos de cromatografia gasosa bidimensional abrangente com detecção por espectrometria de massas (GCxGC-MS).

A palavra “cromatografia” foi introduzida ao mundo da ciência no ano de 1906 por Michael Semenovich Tswett, (Collins, 2009). Por definição, trata-se de um método físico-químico de separação dos componentes de uma mistura, realizada por meio da distribuição desses componentes em duas fases que se encontram em contato. Nessa distribuição, uma das fases permanece estacionária, enquanto a outra se move através dela. Nesse processo, os componentes de uma mistura são distribuídos pelas duas fases de tal forma que cada um deles é seletivamente retido pela fase estacionária, o que resulta em migrações diferenciais (Collins et al., 2006).

São muitas as propostas experimentais publicadas na literatura científica que abordam o tema cromatografia (Fraceto e Lima, 2003; Fonseca e Gonçalves, 2004; Ribeiro e Nunes, 2008). Entretanto, pouca atenção vem sendo dispensada a experimentos que envolvam cromatografia aliada a análise quantitativa e numa perspectiva de ensino problematizadora. É de conhecimento dos professores de ciências o fato de a experimentação despertar um forte interesse entre alunos de diversos níveis de escolarização. Alguns estudos sobre experimentação para o ensino de ciências (Maldaner e Piedade, 1995; Giordan, 1999; Galiazzi e Gonçalves, 2004) afirmam que os professores a consideram importante por contribuir para o aprendizado dos conceitos científicos por parte dos alunos. De acordo com Giordan (1999), a experimentação pode ser conduzida pelos professores de duas formas distintas:



ilustrativa – empregada para demonstrar conceitos discutidos anteriormente sem muita discussão dos resultados experimentais – ou investigativa - empregada anteriormente à discussão conceitual, visando obter informações que subsidiem a discussão teórica.

Visando apresentar uma nova proposta para o desenvolvimento de atividades dessa natureza, surge o conceito de experimentação problematizadora, a partir do qual os estudantes têm a possibilidade de argumentar, refletir e discutir com os colegas e com o professor o conteúdo durante todas as etapas do experimento. Nessa atividade o aluno passa a assumir os desafios não como ponto de chegada, mas como ponto de partida da prática investigativa. (Galiuzzi e Gonçalves, 2004). Tendo isso em vista, e considerando a importância do desenvolvimento de novas propostas metodológicas para o ensino de conteúdos químicos, objetivamos com este trabalho relatar uma atividade de experimentação problematizadora desenvolvida com estudantes da disciplina “Métodos Cromatográficos” do curso de licenciatura em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) – Campus Campo Mourão, tendo como base um método de análise descrito por Cecchi (2003).

A atividade proposta consistiu numa estratégia para contextualização do tema cromatografia em papel e análise quantitativa do método, o qual foi adaptado e modificado para a realidade dos laboratórios de ensino da Universidade. Tal atividade foi desenvolvida no âmbito do que se denomina de “Atividade Prática Como Componente Curricular” (APCC) da disciplina “Métodos Cromatográficos”. Segundo o Conselho Nacional de Educação (Brasil, 2002), que institui as diretrizes curriculares para formação de professores, os cursos de licenciatura devem garantir em suas atividades pedagógicas as APCC, as quais concorrem conjuntamente para a formação da identidade do professor como educador e visam, por meio da articulação entre teoria e prática, estabelecer um movimento contínuo entre o saber e o fazer na busca de significados no processo de ensino-aprendizagem e na resolução de situações próprias do ambiente da educação escolar. De acordo com Abreu et al. (2006), tais atividades estão relacionadas à formação profissional, inclusive as de natureza acadêmica que se voltam para a compreensão das práticas educativas, de aspectos variados da cultura das instituições educacionais e de suas relações com a sociedade e com as áreas específicas de conhecimento.

O plano de ensino da disciplina “Métodos Cromatográficos” deste curso de licenciatura conta com 30 horas/aula de APCC. Para o desenvolvimento desta atividade experimental foram utilizadas 10 horas/aula de APCC. O experimento foi realizado por cinco alunos, sob orientação da professora responsável pela disciplina, por meio do desenvolvimento de um projeto que visava à determinação quantitativa em cromatografia em papel. Com o desenvolvimento dessa atividade foi possível abordar conteúdos relacionados, entre outros aspectos, à cromatografia em papel, ao mecanismo de separação, às interações intermoleculares, aos tipos de fase móvel e estacionária e à análise qualitativa e quantitativa. Ao longo de todo o processo os alunos também foram motivados a analisar e avaliar a melhor maneira de se trabalhar tais conteúdos em uma situação de ensino-aprendizagem na disciplina de química da educação básica.

## OBJETIVOS

Ao longo das últimas décadas, a análise quantitativa aplicada a métodos cromatográficos tem sido realizada quase que exclusivamente por equipamentos e detectores tecnológicos, os quais, por sua precisão, tornam a cromatografia uma técnica de separação extremamente confiável. Com isso, a cromatografia em papel passou a ser utilizada apenas para análises qualitativas. Todavia, em situações de ensino em que tais equipamentos e detectores tecnológicos não estão disponíveis para a determinação quantitativa, é possível realizar tal análise a partir da cromatografia em papel. E essa foi a



perspectiva utilizada nesta atividade. Considerando a ausência desses recursos tecnológicos para a determinação quantitativa em cromatografia nos laboratórios da Universidade, foram utilizados pelos envolvidos na atividade outros recursos e materiais. Assim, objetivamos com este trabalho discutir uma proposta didática para o ensino de análise quantitativa em cromatografia em papel no ensino superior.

## MÉTODO DE TRABALHO

Para o desenvolvimento da atividade experimental foram utilizados os seguintes reagentes: Álcool etílico absoluto (99,5° GL, Tec-Lab), Hidróxido de amônio (êxodo científica), cloreto de sódio (sal de cozinha comercial), corantes alimentícios em pó (MIX Coralim): amarelo crepúsculo (INS 110), eritrozina (INS 127), bordeaux S (INS 123), azul brilhante FCF, vermelho 40, tartrazina. Além disso, foram utilizados também materiais como papel de filtro qualitativo (Unifil), capilares de vidro, tesoura, régua, lápis, balão volumétrico de 10 mL e 100 mL, béquer de 10 mL e 250 mL, vidro de relógio e espátula.

Da mesma forma, foram utilizados corantes alimentícios artificiais em pó contendo em sua composição açúcar refinado e, amostra 1: eritrosina; amostra 2: amarelo crepúsculo; amostra 3: bordeaux S e azul brilhante FCF; amostra 4: vermelho 40, azul brilhante FCF e tartrazina; amostra 5: amarelo crepúsculo e bordeaux S. Um total de 6 soluções foram preparadas, para cada uma das amostras, com dissolução dos corantes em solução de hidróxido de amônio 2,0 % utilizando balão volumétrico de 10 mL. As concentrações utilizadas foram 0,01; 0,02; 0,03; 0,035; 0,04 e 0,05 g/mL. A amostra com concentração 0,035 g/mL foi preparada com o objetivo de servir como amostra teste na avaliação do desempenho da proposta.

Após a preparação das amostras, os estudantes, sob a orientação do professor, iniciaram o procedimento experimental. Em um primeiro momento as amostras foram aplicadas em fita de papel de filtro qualitativo, com dimensões aproximadas de 5,0 por 8,0 cm. Uma gota de cada solução foi aplicada, com um capilar, cerca de 1 cm acima da base do papel. Nessa etapa foi tomado o cuidado para que o diâmetro da mancha não ultrapassasse 0,5 cm, conforme recomendado em outras propostas experimentais sobre o tema cromatografia em papel (Ribeiro e Nunes, 2008).

A cuba cromatográfica foi preparada com um béquer de vidro de 250 mL coberto com um vidro de relógio de tamanho apropriado, onde foi colocada a fase móvel composta por uma solução 2% de cloreto de sódio em etanol 50%. A cuba cromatográfica foi preparada antes do início da aplicação das amostras no papel para que a atmosfera interna ficasse saturada com vapores da fase móvel para facilitar o desenvolvimento cromatográfico.

Após a evaporação do solvente no qual a amostra estava diluída para aplicação, a fita de papel foi posicionada na cuba cromatográfica de modo que o nível da fase móvel ficasse abaixo do ponto onde a amostra havia sido aplicada. Ao fim do desenvolvimento do cromatograma, este foi removido da cuba cromatográfica e, com um lápis, foi marcado a frente do solvente, onde terminou a eluição, antes da sua evaporação.

Em seguida, após a evaporação da fase móvel, foi medido a distância percorrida pelo corante ( $d_r$ ), desde o ponto de aplicação da amostra até o centro da mancha, e a distância percorrida pela fase móvel ( $d_m$ ), desde o ponto de partida até o ponto extremo atingido por ela. Essas medidas foram realizadas com a finalidade de calcular o fator de retardamento  $R_F$ . A área ocupada por cada mancha no cromatograma foi recortada com uma tesoura e suas massas foram determinadas em uma balança analítica com precisão de 0,1mg. Curvas analíticas, ou de calibração foram construídas a partir da massa do papel delimitada pela mancha dos corantes eluídos em função da concentração padrão das amostras



utilizando o software Matlab. Porém softwares como Origin, Excel, entre outros, também podem ser utilizados nesse processo.

Ao longo de toda a atividade experimental, a prática foi sendo continuamente problematizada, tendo em vista sua articulação constante com o conteúdo teórico estudado na disciplina.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do desenvolvimento da atividade experimental problematizadora, foi possível observar grande participação dos estudantes que, sob a mediação do professor regente da disciplina, puderam de maneira ativa e significativa compreender o processo de análise quantitativa em cromatografia em papel, considerando os casos em que não há recursos tecnológicos para a análise quantitativa aplicada a métodos cromatográficos.

A seguir, apresentamos os resultados do processo de análise quantitativa em cromatografia em papel, o qual foi amplamente discutido e problematizado pelo professor e pelos estudantes da disciplina ao longo de toda a atividade experimental.

Os corantes artificiais permitidos em alimentos são derivados ácidos, cuja extração a partir de amostras alimentícias podem ser conduzidas através de hidróxido de amônio,<sup>9</sup> justificando assim seu uso para a diluição dos corantes utilizados nessa proposta experimental. Além disso, o corante artificial amarelo crepúsculo é mais estáveis em pH básico encontrando-se em sua forma protonada em pH alcalino (Ostroski et al., 2005). Os corantes amarelo crepúsculo, bordeaux S, vermelho 40 e tartrazina pertencem à classe dos corantes monoazo que compreende vários compostos que apresentam um anel naftaleno ligado a um segundo anel benzeno por uma ligação azo (N=N). Esses anéis podem conter um, dois ou três grupos sulfônicos<sup>1</sup>. O corante eritrozina é um corante pertencente à classe dos xantenos, insolúvel em pH abaixo de 5,0 enquanto o corante azul brilhante pertence à classe dos trifenilmetanos.<sup>1</sup> A Tabela 1 resume as principais características dos corantes utilizados nessa proposta experimental e pode auxiliar o professor em discussões acerca de funções orgânicas. Na Figura 1 é apresentada a estrutura química dos corantes com as funções que o classificam destacadas em vermelho.

Tabela 1 - Propriedade dos corantes.<sup>1</sup>

Nome Usual	Eritrosina	Amarelo crepúsculo	Bordeaux S	Vermelho 40	Tartrazina	Azul brilhante FCF
Nome Químico	sal di-sódico 2,4,5,7-tetraiodo fluoresceína	sal di-sódio 6-hidroxi-5-[(4-sulfofenil) azo]-naftaleno-2-sulfonato	sal tri-sódico do ácido 3-hidroxi-4-(4-sulfo-1-naftilazo)-naftaleno-2,7-di-sulfonato	sal di-sódico de 1-(2-metoxi-5-metil-4-sulfofenilazo)-2-naftol-6-sulfonato	sal tri-sódico 5-hidroxi-1-(4-sulfofenil)-4-[(4-sulfofenil) azo]-pirazole-3-carboxilato	sal tri-sódico de 4',4''-di (N-etil-3-sulfonatobenzil amino)-trifenil metil-2-sulfonato
Fórmula Molecular	$C_{20}H_{14}I_4Na_2O_5$	$C_{16}H_{10}N_2Na_2O_7S_2$	$C_{20}H_{11}N_2Na_3O_{30}S_3$	$C_{18}H_{14}N_2Na_2O_8S_2$	$C_{16}H_9N_4Na_3O_9S_2$	$C_{37}H_{34}N_2Na_2O_9S_2$
Massa Molar	879,86194	452,36374	604,46361	496,41674	534,35781	792,84314

<sup>1</sup> Disponível em: <[http://www.insumos.com.br/aditivos\\_e\\_ingredientes/materias/119.pdf](http://www.insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes/materias/119.pdf)>, [Consulta: 13/09/2014].



Classe	Xanteno	Monoazo	monoazo	monoazo	monoazo	Trifenilmetano
--------	---------	---------	---------	---------	---------	----------------

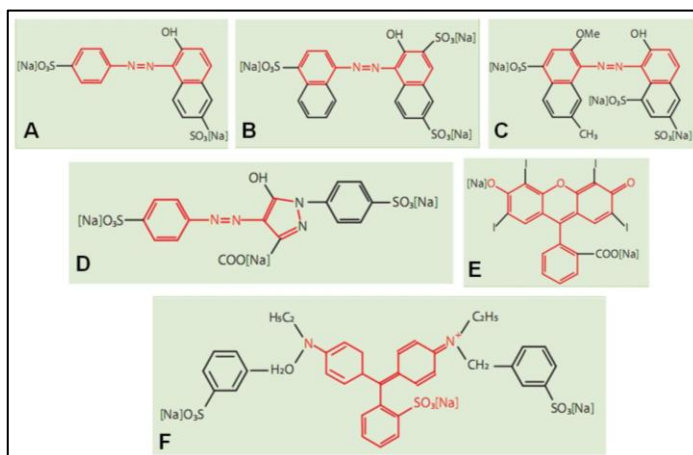


Figura 1 – Estrutura química dos corantes.

(A) amarelo crepúsculo, (B) bordeaux S, (C) vermelho 40, (D) tartrazina, (E) eritrosina, (F) azul brilhante FCF

(Fonte: [http://www.insumos.com.br/aditivos\\_e\\_ingredientes/materias/119.pdf](http://www.insumos.com.br/aditivos_e_ingredientes/materias/119.pdf))

A cromatografia em papel é considerada um tipo de cromatografia líquido-líquido no qual o papel, através das moléculas de celulose, incorpora moléculas de água. É esta água absorvida sobre a celulose que funciona como fase estacionária. Para assegurar que a celulose permaneça saturada com água, muitas fases móveis usadas em cromatografia em papel contem água como um dos seus componentes (Neto e Nunes, 2003). Isso ajuda na compreensão do uso da fase móvel utilizada nessa proposta experimental. O álcool comporta-se como um solvente menos polar que a água e é utilizado na proporção 50% de álcool e 50% de água, assegurando que a celulose permaneça saturada com água. O cloreto de sódio presente na concentração 2% modifica a força iônica da fase móvel garantindo que as moléculas dos corantes se mantenham em sua forma protonada.

Primeiramente, o desenvolvimento cromatográfico foi realizado com as amostras 1 e 2, contendo apenas um único corante, eritrozina ou amarelo crepúsculo, respectivamente. O objetivo foi comprovar a possibilidade da análise quantitativa a partir de dois métodos: 1) Área da mancha, através das massas dos pedaços de papel delimitado pelo pico, contendo o corante eluído nas diferentes concentrações. 2) Comparação da intensidade das cores reveladas (Collins et al., 2006). A Figura 2 mostra os cromatogramas após eluição para essas primeiras análises, enquanto a Figura 3 apresenta as respectivas curvas de calibração construídas a partir da concentração em função da massa.

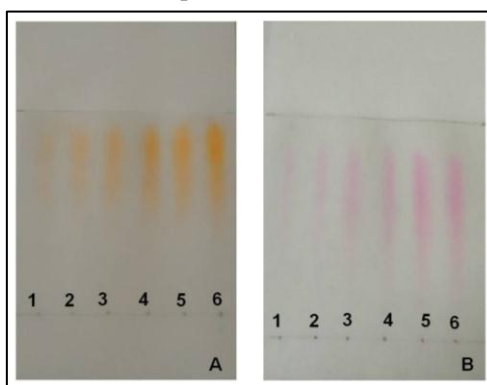




Figura 2 - Cromatogramas dos corantes puros. (A) amarelo crepúsculo, (B) eritrozina.

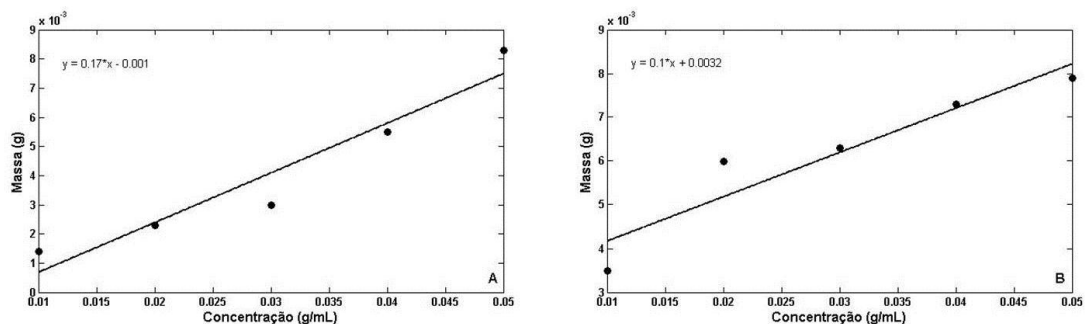


Figura 3. Curva analítica. (A) eritrozina, (B) amarelo crepúsculo.

Analisando os cromatogramas da Figura 2, por comparação da intensidade das cores reveladas e dos tamanhos das manchas padrão, verifica-se que o resultado da amostra teste, (representada pelo número 4 nas Figuras 2-A e 2-B), em ambos os casos, apresentam resultados intermediários entre a amostra com concentração 0,03 g/mL (representada pelo número 3 nas Figuras 2-A e 2-B) e 0,04 g/mL (representada pelo número 5 nas Figuras 2-A e 2-B). Segundo a literatura (Collins et al., 2006), esse tipo de análise é considerada semiquantitativa e apresenta resultados com uma margem de erro de mais ou menos 20 %.

As curvas analíticas da Figura 3 permitiram aos estudantes verificar a existência de uma relação linear entre as massas dos pedaços de papel delimitado pelo corante eluído nas diferentes concentrações e as respectivas concentrações iniciais das soluções padrão. A amostra teste, contendo o corante eritrozina na concentração de 0,035 g/mL apresentou 0,0035 g de massa do pedaço de papel delimitado pelo corante eluído naquela concentração. Através da equação da reta apresentada na Figura 3-A o resultado de concentração previsto foi de 0,027 g/mL. Para a amostra teste do corante amarelo crepúsculo na concentração 0,035 g/mL a massa do pedaço de papel delimitado pelo corante eluído foi de 0,0080 g com uma concentração prevista pelo equação da reta da Figura 3-B de 0,048 g/mL. Estes resultados são sumarizados na Tabela 2 juntamente com o coeficiente de correlação (R) para as curvas analíticas. Os resultados alcançados a partir das amostras contendo um único corante componente foram um indício favorável de que a proposta poderia ser viável para o ensino de análise quantitativa aliada à cromatografia.

Nesse sentido, o desenvolvimento cromatográfico foi conduzido nas amostras 3, 4 e 5 com composição bordeaux S e azul brilhante FCF; vermelho 40, azul brilhante FCF e tartrazina; amarelo crepúsculo e bordeaux S, respectivamente. Os cromatogramas após eluição para cada uma das amostras contendo misturas dos corantes são ilustrados na Figura 4. No primeiro e segundo caso é possível observar que o corante azul brilhante não formou bandas simétricas após a eluição da cromatografia, mesmo depois de cerca de 40 minutos após o início da eluição. Por isso, optou-se pela quantificação do corante bordeaux S na amostra número 3 e do corante vermelho 40 na amostra número 4. O terceiro cromatograma, referente à amostra número 5, Figura 4-C, mostra uma separação satisfatória entre os corantes amarelo crepúsculo e bordeaux S. Nesse caso foi possível a quantificação dos dois corantes após a separação. Em todos os casos, a análise semiquantitativa, através da intensidade das cores e dos tamanhos das manchas das soluções padrão, indicou que a amostra teste (representada pelo número 4



nas Figuras 4-A, 4-B e 4-C) é intermediária à concentração das soluções padrão de concentração 0,03 g/mL (representada pelo número 3 nas Figuras 4-A, 4-B e 4C) e 0,04 g/mL (representada pelo número 5 nas Figuras 4-A, 4-B e 4C).

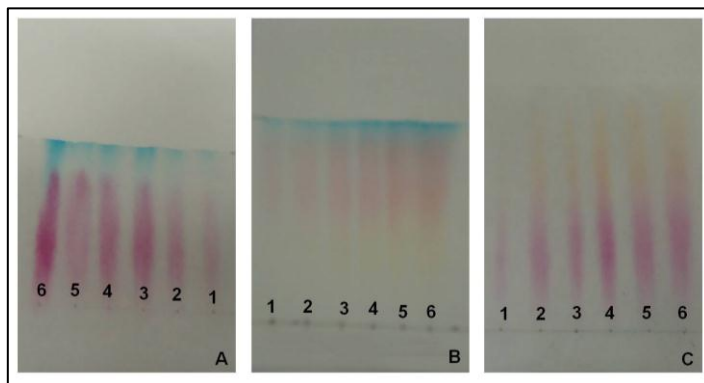


Figura 4 - Cromatogramas dos corantes nas misturas. (A) bordeaux S e azul brilhante FCF, (B) vermelho 40, azul brilhante FCF e tartrazina, (C) amarelo crepúsculo e bordeaux S.

No caso da primeira mistura de corantes, Figura 4-A, verifica-se que o corante bordeaux S é mais polar que o corante azul brilhante FCF. Na segunda amostra contendo uma mistura de três corantes, Figura 4-B, verifica-se que a tartrazina é mais polar que o vermelho 40 enquanto o azul brilhante é o corante que apresenta caráter mais apolar. Para essa amostra, não foi possível a quantificação do corante tartrazina, possivelmente devido à sua baixa concentração na amostra comercial de corante utilizada. Na separação dos constituintes da terceira amostra, Figura 4-C, verifica-se que o bordeaux S é mais polar que o corante amarelo crepúsculo sendo esse último mais facilmente carregado pela fase móvel de caráter apolar.

A Figura 5 apresenta as curvas analíticas para a quantificação dos corantes bordeaux S na amostra 3 – Figura 5-A, vermelho 40 na amostra 4 – Figura 5-B, amarelo crepúsculo – Figura 5-C e bordeaux S – Figura 5-D na amostra número 5. Para essas curvas analíticas, o menor coeficiente de correlação foi 0,8915 enquanto o maior coeficiente de correlação alcançado foi 0,9856. Os resultados do coeficiente de correlação para todas as curvas analíticas construídas são apresentados na Tabela 2.

Os resultados para a previsão da concentração de amostras testes foram obtidos utilizando a equação da reta originada a partir das curvas analíticas e estão apresentados na Tabela 2, que mostra também os valores de erro absoluto oriundos da previsão das amostras testes.

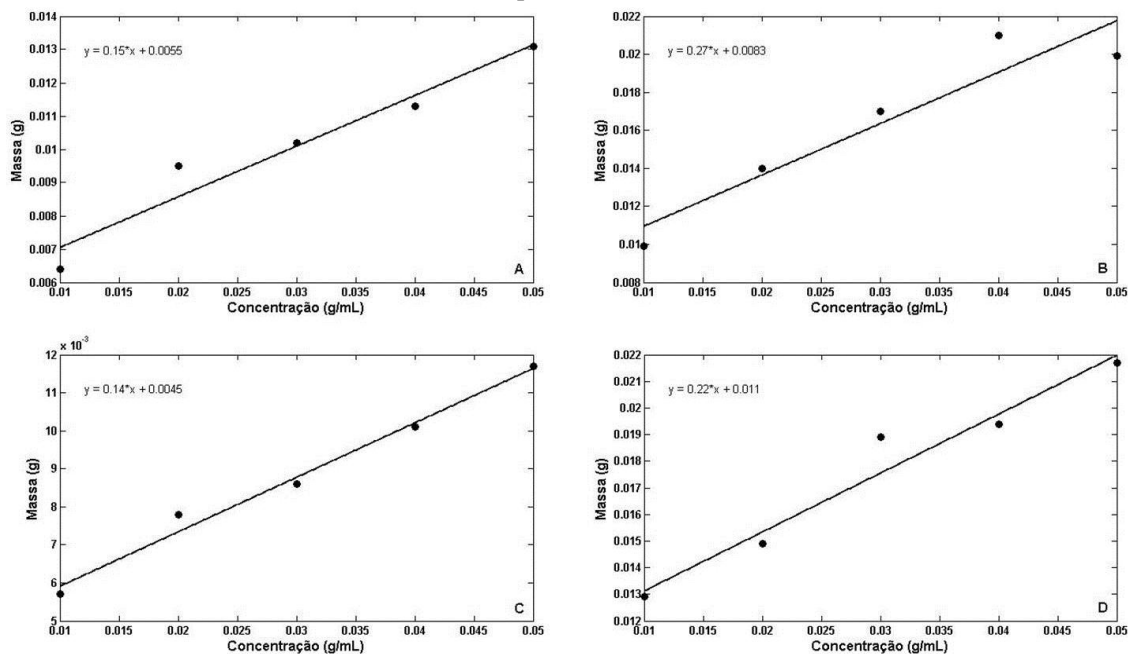






Figura 5 - Curvas analíticas. A) bordeaux S proveniente da primeira amostra, (B) vermelho 40, (C) amarelo crepúsculo, (D) bordeaux S proveniente da terceira amostra.

Tabela 2 - Coeficiente de correlação para as curvas analíticas e parâmetros da previsão.

Curva Analítica	Coeficiente de correlação (R)	Massa do papel delimitado pelo corante eluido na solução teste (g)	Concentração prevista (g/mL)	Erro absoluto (g/mL)
Figura 1 - A	0,9221	0,0035	0,026	0,009
Figura 1 - B	0,8917	0,0080	0,048	0,013
Figura 4 - A	0,9430	0,0096	0,027	0,008
Figura 4 - B	0,8915	0,0200	0,043	0,008
Figura 4 - C	0,9856	0,0095	0,036	0,001
Figura 4 - D	0,9556	0,0161	0,023	0,012

O maior valor de erro absoluto observado na etapa de previsão das amostras testes foi de 0,013 g/mL enquanto o menor valor foi de 0,001 g/mL. Esses resultados podem ser considerados satisfatórios para os fins aos quais se destina essa proposta experimental e permite introduzir conceitos de análise quantitativa aplicada a dados cromatográficos. Menores erros, bem como maiores coeficientes de correlação, poderiam ter sido alcançados se as amostras tivessem sido aplicadas no papel cromatográfico com o auxílio de uma micropipeta. Além dos conceitos quantitativos da análise cromatográfica, conceitos de análise qualitativa também podem ser abordados com a determinação do fator de retardamento ( $R_F$ ) através da equação 1:

$$R_F = \frac{d_r \text{ (cm) percorrida pela substância}}{d_m \text{ (cm) percorrida pela frente da fase móvel}} \quad (1)$$

A distância percorrida pela substância ( $d_r$ ) foi medida desde o ponto de aplicação da amostra até o centro da mancha. A distância percorrida pela fase móvel ( $d_m$ ) foi medida desde o ponto de partida até o ponto extremo atingido por ela. A Tabela 3 apresenta os valores de  $R_F$  para todas as soluções padrão e amostra teste em todas as cinco amostras utilizadas. Os valores de  $R_F$  encontrados na literatura (Takashima et al., 1988), com o mesmo tipo de fase móvel, foram também dispostos na última coluna da Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de  $R_F$  dos corantes analisados.

Corante	Amostra	Concentração (g/mL)	$d_r$ (cm)	$d_m$ (cm)	$R_F$	$R_F$ (Takashima et al., 1988)



<b>Eritrozina Cromatograma Figura 1-A</b>	1	0,01	2,2	3,4	0,65	0,60
	2	0,02	2,3		0,68	
	3	0,03	2,3		0,68	
	4 (teste)	0,035	2,2		0,65	
	5	0,04	2,3		0,68	
	6	0,05	2,4		0,70	
<b>Amarelo crepúsculo Cromatograma Figura 1-B</b>	1	0,01	3,5	4,5	0,77	0,68
	2	0,02	2,7		0,60	
	3	0,03	2,6		0,58	
	4 (teste)	0,035	2,7		0,60	
	5	0,04	2,6		0,58	
	6	0,05	2,8		0,62	
<b>Bordeaux S Cromatograma Figura 4-A</b>	1	0,01	1,7	5,3	0,32	0,33
	2	0,02	1,8		0,34	
	3	0,03	1,9		0,35	
	4 (teste)	0,035	1,7		0,32	
	5	0,04	2,0		0,38	
	6	0,05	1,9		0,35	
<b>Vermelho 40 Cromatograma Figura 4-B</b>	1	0,01	3,2	4,7	0,68	0,67-0,85
	2	0,02	3,3		0,70	
	3	0,03	3,3		0,70	
	4 (teste)	0,035	3,4		0,72	
	5	0,04	3,4		0,72	
	6	0,05	3,4		0,72	
<b>Amarelo crepúsculo Cromatograma Figura 4-C</b>	1	0,01	4,0	6,6	0,61	0,68
	2	0,02	4,2		0,64	
	3	0,03	4,1		0,62	
	4 (teste)	0,035	4,6		0,69	
	5	0,04	4,7		0,71	
	6	0,05	5,0		0,76	
<b>Bordeaux S Cromatograma Figura 4-D</b>	1	0,01	1,5	6,6	0,23	0,33
	2	0,02	1,6		0,24	
	3	0,03	1,7		0,26	
	4 (teste)	0,035	1,7		0,26	
	5	0,04	1,7		0,26	
	6	0,05	2,0		0,30	

Como é possível observar, os valores de  $R_F$  obtidos no experimento proposto são concordantes com os valores descritos na literatura (Takashima et al., 1988). Assim, a proposta experimental apresentada também pode ser utilizada na introdução de conceitos sobre análise qualitativa em cromatografia.

Durante o desenvolvimento do experimento, os alunos foram solicitados a interpretar os resultados observados e apresentar informações que subsidiassem discussões sobre o problema proposto. Nessa perspectiva, os alunos puderam compreender não apenas os conceitos, mas também sua relação com os fenômenos, elementos e experiências práticas relacionadas ao conteúdo. Isso foi possível a partir da problematização e das reflexões e discussões orais e escritas em relatórios sobre o desafio proposto e da mediação realizada pelo professor no processo de ensino-aprendizagem.



## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do desenvolvimento dessa atividade foi possível, mesmo com a ausência de equipamentos tecnológicos, discutir com os estudantes as possibilidades de determinação quantitativa com o uso da cromatografia em papel, empregando amostras de corantes alimentícios artificiais, para análises qualitativas e quantitativas. Com essa atividade, os estudantes puderam compreender que a análise qualitativa pode ser realizada pela visualização da separação cromatográfica dos constituintes presentes em cada corante e pela comparação dos valores de RF.

Nas análises quantitativas, através da intensidade de cor, foi possível realizar uma determinação semiquantitativa, enquanto que empregando a curva analítica ou de calibração, obtida a partir das massas dos pedaços de papel delimitado pelo corante eluído em função dos valores de concentração padrão, possibilitou a realização de análises quantitativas com ajuste linear, representado pelo valor dos coeficientes de correlação, superiores a 0,89. Vale ressaltar que os resultados obtidos para a determinação quantitativa em cromatografia em papel poderiam apresentar menores erros e maiores coeficientes de correlação se a aplicação da amostra sobre o papel tivesse sido realizada com uma micropipeta. Mesmo assim, os resultados alcançados mostraram a potencialidade do experimento como proposta para o ensino de análise quantitativa de dados cromatográficos. Além disso, o experimento permitiu discussões elucidativas sobre interações intermoleculares, polaridade, funções orgânicas e quantificações empregando curvas analíticas. A simplicidade do experimento torna sua realização viável em laboratórios que não dispõem de muitos recursos materiais.

Com este trabalho foi possível observar grande participação dos estudantes, o que mostra a importância de atividades experimentais tanto para o desenvolvimento de trabalhos colaborativos quanto para a articulação entre teoria e prática. Consideramos que tal abordagem didática tenha favorecido o aprendizado ativo, desafiador e significativo de conhecimentos necessários à formação dos estudantes e à sua futura atuação profissional.

Da mesma forma, a experimentação problematizadora, realizada por meio do desenvolvimento de projetos, possibilitou, na medida do possível, a superação do paradigma tradicional e tecnicista da educação, a partir do qual a teoria é, de maneira descontextualizada, simplesmente aplicada à prática ou ilustrada por meio desta. Ao contrário, a experimentação problematizadora possibilita a constante articulação entre teoria e prática e, como consequência, favorece a superação da dicotomia entre essas duas dimensões indissociáveis nos cursos de Química.

Pretendemos continuar a divulgação de experimentos didáticos de análise quantitativa em cromatografia, com novos artigos baseados nos resultados de projetos desenvolvidos pelos alunos do curso de Licenciatura em Química na disciplina de Métodos Cromatográficos da referida Universidade. O próximo artigo deverá versar sobre um experimento para realização de análise quantitativa em cromatografia em papel a partir da extração da substância eluída seguida de análise espectrofotométrica.

## REFERÊNCIAS

Abreu, D.G., Costa, C.R., Assis, M.D., Yamamoto, Y. (2006). Uma proposta para o ensino da química analítica qualitativa. *Química nova*, 29, 6, 1381-1386.

Cecchi, H.M. (2003). *Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimento*. Campinas, SP: Editora Unicamp.



Collins, C.H., Braga, G.L., Bonato, P.S. (2006). Fundamentos de cromatografía. Campinas, SP: Editora Unicamp.

Collins, C.H. (2009). Michael Tswett e o “nascimento” da cromatografía. *Scientia Chromatographica*, 1, 1, 7-20.

Conselho Nacional de Educação (CNE). (2002). Resoluções CNE/CP 1/2002 e CNE/CP 2/2002. Diário Oficial da União, Brasília, 4/03/2002, Seção 1, 8-9.

Fonseca, S.F., Gonçalves, C.C.S. (2004). Extração de pigmentos de espinafre e separação em coluna de açúcar comercial. *Química Nova na Escola*, 20, 55-58.

Fraceto, L.F., Lima, S.L.T. (2003). Aplicação da cromatografía em papel na separação de corantes em pastilhas de chocolate. *Química Nova na Escola*, 18, 46-48.

Galiazzi, M.C., Gonçalves, F.P. (2004). A natureza pedagógica da experimentação: uma pesquisa na licenciatura em Química. *Química Nova*, 27, 2, 326-329.

Giordan, M. (1999). O papel da experimentação no ensino de ciências. *Química Nova na Escola*, 10, 43-49.

Maldaner, G., Piedade, M.C.T. (1995). Repensando a Química: a formação de equipes de professores/pesquisadores como forma eficaz de mudança da sala de aula em química. *Química Nova na Escola*, 1, 15-19.

Neto, F.R.A.; Nunes, D.S.S. (2003). *Cromatografía: Princípios básicos e técnicas afins*. Rio de Janeiro: Editora Interciência.

Ostroski, I., Bariccatti, R.A., Lindino, C.A. (2005). Estabilidade dos corantes tartrazina e amarelo crepúsculo em refrigerantes. *Acta Scientiarum Technology*, 27, 2, 101-106.

Ribeiro, N.M., Nunes, C.R. (2008). Análise de pigmentos de pimentões por cromatografía em papel. *Química Nova na Escola*, 29, 34-37.

Takashima, K., Takata, N.H., Nakamura, W.M. (1998). Separação e identificação de corantes sintéticos para fins alimentícios solúveis em água. *Semina*, 9, 4, 171-174.