

AVALIAÇÃO DAS AULAS EXPERIMENTAIS DOS CURSOS DE QUÍMICA DO CCET-UEG DE ACORDO COM A PERSPECTIVA DA ESTRELA VERDE

**Wesley Falcão Magela^{1*}; Andreza Karlla Moreira de Oliveira¹; Valmir Jacinto da Silva¹
magela9947@gmail.com**

¹Universidade Estadual de Goiás/UEG – Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo – CCET-UEG;

Palavras Chave: Experimentação, Estrela verde, Sustentabilidade

Resumo: A experimentação, segundo o consenso da maioria dos professores de química dos mais diversos níveis, desempenha um papel fundamental no processo de ensino-aprendizagem. Entendendo a importância do uso da experimentação, tanto na educação básica quanto no ensino superior, devemos nos atentar às consequências e impactos ambientais dessa prática. Nesse contexto, o objetivo do presente trabalho foi avaliar os roteiros experimentais das disciplinas práticas do curso de química industrial e licenciatura em química, do CCET-UEG, de acordo com os princípios da química verde. Nessa análise, levamos em conta a preocupação com a formação do profissional em química socialmente consciente dos impactos do seu trabalho no meio ambiente, e da importância da sua autocrítica no que tange a redução destes.

INTRODUÇÃO

Consideramos que a experimentação representa uma estratégia pedagógica dinâmica na formação inicial dos professores de Química, pois, de acordo com Giordan (1999), há um consenso geral de que a experimentação é capaz de despertar interesse entre os alunos, independente do seu nível de escolarização, pois para a maioria deles, a experimentação tem caráter motivador, visto que, ela propicia aos educandos uma compreensão mais científica das transformações que ocorrem na natureza. Entretanto, é importante ressaltar que as atividades experimentais não asseguram, por si só, a promoção de aprendizagens significativas que estabeleçam relações diretas entre a teoria e a prática. Para Benite et al. (2009), na visão dos professores, a experimentação aumenta a capacidade de aprendizado, na medida em que ela envolve os alunos nos temas trabalhados. Todavia, apesar de sua importância cada vez maior, a mesma necessita de uma relação dialógica com a teoria, para fortalecer a mediação entre os processos de ensino-aprendizagem.

Desse modo, devemos nos atentar ao papel de quem assume a responsabilidade de utilizar desta metodologia de ensino e avaliar o custo de seus impactos sociais e ambientais. Durante uma aula experimental, diversos materiais e reagentes são utilizados, consumidos, produzidos e descartados. Alguns destes, encontram-se entre aqueles classificados como de risco, pois apresentam características como inflamabilidade, toxicidade ou corrosividade. Os quais, segundo Mól et al. (2008), quando utilizados nessas aulas, podem transformar-se em materiais com potenciais danos ao meio ambiente, e não devem ser descartados como lixo comum ou sem tratamento prévio.

A grande maioria dos cursos de Química, espalhados pelo país, dentre os quais, pode ser incluído os cursos de Química Industrial e Licenciatura em Química do Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo (CCET-UEG), não se preocupam de forma consistente e sistematizada com os resíduos gerados no

decorrer das aulas experimentais, o que de certa maneira, é incoerente com a formação do profissional destas duas modalidades de atuação, visto que, uma parcela considerável dos formandos irão atuar no ensino fundamental ou trabalhar na parte de tratamento de rejeitos provenientes da indústria química e necessitam conhecer as formas adequadas de minimizar ou evitar a geração de resíduos capazes de prejudicar o meio ambiente. Cunha e Santana (2012), observaram que, embora seja crescente o número de trabalhos publicados sobre o tema, ainda são escassos os roteiros de aulas desenvolvidas, ou adaptadas com a introdução dos conceitos da Química Verde nos cursos de graduação em Química, em qualquer uma das modalidades.

De acordo com a perspectiva progressista, o profissional envolvido tanto na indústria quanto na arte de ensinar, também deve ser ético e, no caso das atividades de laboratório, isso tem como consequência, por exemplo, na busca por ações mais concretas e apropriadas em relação ao destino dos resíduos laboratoriais. Em outros termos, esse destino não pode ser o descarte irresponsável, visto que, essa ação, contribui no desenvolvimento ou reforço de atitudes indesejáveis em uma sociedade repleta de “problemas ambientais” (FREIRE, 2011).

Essa ideia é reforçada por Gonçalves; Marques (2011, p. 900):

“... a perspectiva progressista fornece elementos importantes para analisar o contexto atual das atividades experimentais e do seu estudo nos processos de formação docente. Com base nesta perspectiva, é possível sinalizar positivamente, entre outros aspectos, a utilização de materiais e reagentes de baixo custo para a promoção de experimentos e o diálogo decorrente da sua realização, assim como a necessidade de dar um destino acertado aos resíduos, quando for caso, não prejudicial ao meio biótico e abiótico.”

Nesse contexto, a Química Verde aponta doze princípios que perseguem a ideia de sustentabilidade nos experimentos químicos, e contemplam a prevenção, o uso de reagentes mais seguros, a economia atômica e a redução de resíduos.

Sob a perspectiva de demonstrar o índice de “verdura” das atividades experimentais dos cursos de Química do CCET-UEG, a Estrela Verde se apresenta como uma métrica holística de natureza gráfica que engloba os doze princípios da Química Verde, mediante a escala de cumprimento dos critérios pré-definidos e que é capaz de cobrir todos os princípios aplicáveis em cada situação sob estudo. Segundo Ribeiro (2010), a “verdura” é uma grandeza complexa e elusiva, constituída por variadas ideias de natureza química, e que originalmente tem sido aferida por métricas reducionistas diversas, cada qual dirigida a um dos princípios da Química Verde.

OBJETIVOS

O presente trabalho tem por objetivo apresentar uma avaliação dos roteiros das aulas experimentais das disciplinas práticas de Química Orgânica, Química Inorgânica, Química Analítica e Físico-Química dos cursos de Química Industrial e Licenciatura em Química, do Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo, da Universidade Estadual de Goiás (CCET-UEG), segundo os princípios da Química Verde, e classificá-los segundo sua sustentabilidade. Objetivamos também, discutir a formação do profissional em Química consciente da necessidade de repensar a responsabilidade socioambiental da sua prática docente ou de atuação na indústria, por meio do descarte adequado, e da minimização dos resíduos gerados nas aulas experimentais.

METODOLOGIA

Tomamos a Estrela Verde (EV) como metodologia para a análise dos roteiros das aulas experimentais. A Estrela Verde trata-se de uma métrica holística gráfica que se baseia nos doze princípios da Química Verde para indicar o padrão de “verdura” de um determinado experimento, que se configura como um objeto de análise.

A Estrela Verde se ocupa em prever o cumprimento dos princípios da Química Verde aplicáveis ao experimento em questão, por meio da avaliação de critérios pré-definidos, em uma escala de pontuação de 1 (cumprimento mínimo) a 3 (cumprimento máximo), sendo que esta pontuação define a escala de verdura da ponta da estrela responsável pelo princípio analisado.

Na construção da Estrela Verde, em cada experimento, foram recolhidos dados a respeito das substâncias a serem utilizados nas atividades práticas de ambos os cursos acerca dos riscos para a saúde e para o meio ambiente, tendo como base as seguintes propriedades: inflamabilidade, toxicidade, reatividade e degradabilidade. Esses dados foram a base para a pontuação do cumprimento de cada princípio da Química Verde de acordo com os critérios apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Componentes e pontuações para construção das Estrela Verde (p = pontuação).

Princípios da Química Verde	Critérios	p
P1 = Prevenção	Todos os resíduos são inócuos;	3
	Resíduos que envolvam um risco moderado para a saúde e ambiente;	2
	Formação de pelo menos um resíduo que envolva um risco elevado para a saúde e ambiente	1
P2 = Economia Atômica	Reações sem reagentes em excesso (<10%) e sem formação de coprodutos	3
	Reações sem reagentes em excesso (<10%) e com formação de coprodutos	2
	Reações com reagentes em excesso (>10%) e sem formação de coprodutos	2
	Reações com reagentes em excesso (>10%) e com formação de coprodutos	1
P3 = Síntese menos perigosa	Todas as substâncias envolvidas são inócuas	3
	As substâncias envolvidas apresentam um risco moderado para a saúde e ambiente	2
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas apresenta um risco elevado para a saúde e ambiente	1
P5 = Solventes e outras substâncias auxiliares mais seguras	Os solventes e as substâncias auxiliares não existem ou são inócuas	3
	Os solventes e as substâncias auxiliares usadas envolvem um risco moderado para a saúde e ambiente	2
	Pelo menos um dos solventes ou uma das substâncias auxiliares usadas envolve um risco elevado para a saúde e ambiente	1
P6 = Planificação para conseguir eficácia energética	Temperatura e pressão ambientais	3
	Pressão ambiental e temperatura entre 0 °C e 100 °C que implique arrefecimento ou aquecimento	2
	Pressão diferente da ambiental e/ou temperatura muito afastada da ambiental	1
P7 = Uso de matérias primas renováveis	Todos os reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos são renováveis	3
	Pelo menos um dos reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos é renovável, não se considera a água	2
	Nenhum dos reagentes/matérias-primas/recursos envolvidos é renovável, não se considera a água	1
P8 = Redução de derivatizações	Não se usam derivatizações	3
	Usa-se apenas uma derivatização ou operação semelhante	2
	Usam-se várias derivatizações ou operações semelhantes	1

P9 = Catalisadores	Não se usam catalisadores ou os catalisadores são inócuos	3
	Utilizam-se catalisadores que envolvem um risco moderado para a saúde e ambiente	2
	Utilizam catalisadores que envolvem um risco elevado para a saúde e ambiente	1
P10 = Planificação para a degradação	Todas as substâncias envolvidas são degradáveis com os produtos de degradação inócuos	3
	Todas as substâncias envolvidas que não são degradáveis podem ser tratados para obter a sua degradação com os produtos de degradação inócuos	2
	Pelo menos uma das substâncias envolvidas não é degradável nem pode ser tratada para obter a sua degradação com produtos de degradação inócuos	1
P12 = Química inerentemente mais segura quanto à prevenção de acidentes	As substâncias envolvidas apresentam um baixo risco de acidente químico	3
	As substâncias envolvidas apresentam um risco moderado de acidente químico	2
	As substâncias envolvidas apresentam um risco elevado de acidente químico	1

Fonte: RIBEIRO, GABRIELA T.C; et.al., Uma Métrica Gráfica para Avaliação Holística da Verdura de Reacções Laboratoriais – “Estrela Verde”; Química Nova, Vol. 33, 2010.

Devemos observar que os princípios P4 e P11 não se aplicam nos casos abordados pela pesquisa por não se efetuar, no ensino, a planificação de novos produtos. Da mesma forma, os princípios P2, P3, P8 e P9 só são aplicáveis às reacções onde não se observa síntese. Assim, serão utilizados dois modelos de estrela, apresentados nas figuras 1 e 2.

Figura 1. Modelo de Estrela Verde para experimentos que não envolvem reacções de síntese.

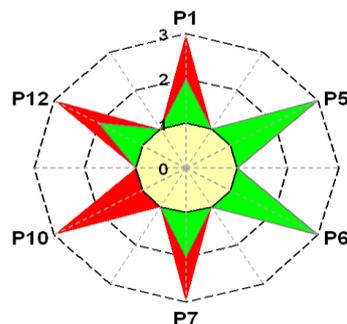
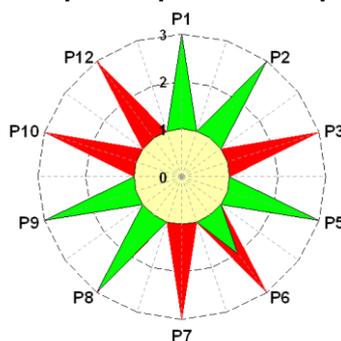


Figura 2. Modelo de Estrela Verde para experimentos que envolvem reacções de síntese.



Em alguns casos torna-se difícil a mera comparação visual do índice de “verdura” do experimento, para este fim foi calculada a percentagem de área verde da

estrela em relação à área de uma estrela completamente verde, o que se chama de IPE (índice de preenchimento máximo da estrela), conforme mostra a equação 1.

$$IPE = \frac{\text{Área Verde da Estrela}}{\text{Área da Estrela de Verdura Máxima}} \cdot 100 \quad \text{Eq. 1.}$$

A partir da análise dos roteiros experimentais, foi construída uma Estrela Verde para cada atividade prática e para a discussão da sustentabilidade de cada disciplina, foi construída uma tabela com a média dos IPE's dos experimentos de cada disciplina.

Foram colhidos, também, depoimentos de alunos de diversos períodos dos cursos de Química Industrial e de Licenciatura em Química, acerca das disciplinas experimentais cursadas e seus impactos ambientais, e acerca de suas preocupações com sua formação no que tange ao viés da sustentabilidade e da redução do impacto ambiental de sua futura prática profissional.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram construídas um total de 86 estrelas verdes, analisando 86 experimentos dentro das 8 disciplinas experimentais de ambos os cursos de Química, que foram os objetos desta pesquisa. As médias dos IPE's de cada disciplina, e a distribuição percentual de experimentos em faixas de IPE, são apresentadas nos quadros 1 e 2. Alguns exemplos de Estrelas Verdes (EV's) construídas durante a análise dos experimentos são apresentadas nas figuras 1 e 2.

Os resultados obtidos a partir da construção das Estrelas Verdes, e demonstrados no Quadro 1 apresentam um dado alarmante, no que tange a sustentabilidade, nos experimentos das disciplinas experimentais analisadas. Podemos notar que apenas uma disciplina, dentre as oito analisadas, apresenta uma média de IPE acima de 50,00. O Quadro 2 nos mostra que apenas 12,79% dos experimentos analisados tem seu IPE acima da faixa supracitada acima dos 50,00, e que aproximadamente 40,7% dos experimentos tem seu IPE abaixo de 30,00. Essa situação, já preocupante a partir do ponto de vista da Química Verde, é ainda mais inquietante quando falamos em disciplinas cujo objetivo é a formação de futuros profissionais, tanto da área de ensino que terão como parte de sua missão, em sala de aula, abrir um rol de discussões, voltadas para a educação social de sujeitos conscientes de seu papel na sociedade e do impacto da ação humana no ambiente em que vivem, quanto na área industrial, cujo profissional formado terá como uma de suas missões controlar ou inibir o lançamento de produtos nocivos ao meio ambiente.

Quadro 1: Média de IPE por disciplina

Disciplina	Média IPE
Química Inorgânica Experimental - I	33,00
Química Inorgânica Experimental - II	43,78
Química Orgânica Experimental - I	33,33
Química Orgânica Experimental - II	44,16
Química Analítica Experimental - I	23,95
Química Analítica Experimental - II	34,54
Físico-Química Experimental - I	56,82
Físico-Química Experimental - II	37,50

Quadro 2: Distribuição percentual de experimentos por faixa de IPE

Faixa de IPE	Porcentagem
Entre 0 e 10	1,16%
Entre 11 e 20	13,95
Entre 21 e 30	25,58%
Entre 31 e 40	15,11%
Entre 41 e 50	31,39%
Entre 51 e 60	6,98%
Entre 61 e 70	1,16%
Entre 71 e 80	1,16%
Entre 81 e 90	0,00 %
Entre 91 e 100	3,49 %

É possível, ainda, atribuir-se parte dos problemas detectados à deficiência de discussão, por parte dos docentes para com os discentes, de vias experimentais de menor impacto, e com menor produção de resíduos. Isso se evidencia nas palavras dos próprios alunos entrevistados durante a coleta de depoimentos realizada durante a pesquisa. Todos os 13 alunos escutados foram enfáticos ao declararem jamais ter havido, nas disciplinas cursadas, a problematização acerca do excesso de dejetos produzidos durante as atividades experimentais, como na fala da aluna 1, sobre a ausência deste diálogo:

“Na aula de laboratório, os professores, lá [no laboratório] os professores não põe esse assunto [menor produção de resíduos] em pauta, não aborda com a gente...”.

Essa deficiência, é também explicitada quando, na análise das Estrelas Verdes construídas, notamos que 70, dos 83 experimentos analisados, obtiveram pontuação 1 no princípio 1 da Química Verde, que diz respeito a prevenção para a não formação de resíduos tóxicos. Nota-se então que nada, ou quase nada, é repensado, no que tange a diminuição da produção de dejetos provenientes das práticas laboratoriais. Nesse sentido, reafirmamos a necessidade da quebra deste modelo de aula, que muito se assemelha a uma “receita de bolo”, onde os reagentes, assim como os ingredientes, são misturados seguindo uma marcha sistêmica, ou um modo de preparo, desprovido de qualquer reflexão. A situação também é revelada no depoimento da aluna 2:

“As aulas são muito práticas, é como preparar um bolo, muitas vezes a gente nem sabe como as soluções foram preparadas, a gente não sabe nem para onde vai o descarte que [nós] derramamos no vidrinho...”.

Figura 3: EV referente ao experimento “ Síntese da Acetanilida” da disciplina de Química Orgânica II.

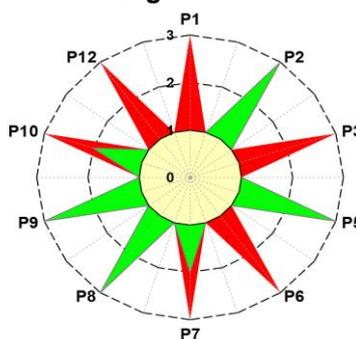
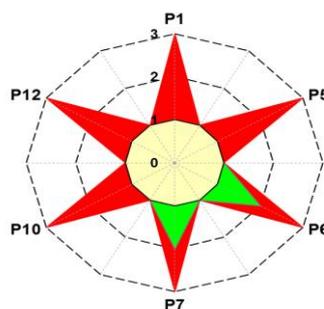


Figura 4: EV referente ao experimento “ Análise de Ânions do grupo I” da disciplina Química Analítica I.



Outra carência notada, fruto desta visão simplista da experimentação em Química, tange aos conceitos de Química Verde, e ao ideário de sustentabilidade, demonstrados pelos alunos entrevistados. Observa-se claramente, na fala dos 13 alunos depoentes, uma perspectiva sobre um uso consciente da experimentação, e das produções químicas, pautada unicamente na preocupação com o destino dos resíduos formados, sem a concepção de uma Química com o viés da não produção de descartes, ou a minimização destes. Fica claro que essa distorção do sentido, e dos princípios da Química Verde, derivam de uma total, ou quase total, falta de atenção no trabalho destes conhecimentos durante a formação destes futuros docentes e químicos industriais. Essa lacuna se escancara, quando no diálogo, todos os alunos ouvidos garantem jamais ter sido ministrados os conceitos da Química Verde em nenhuma das disciplinas cursadas até o momento.

Um aspecto ainda mais alarmante concerne ao fato de que, dos 83 experimentos analisados, apenas 10 tenham obtido pontuação 2 no princípio 12 da QV, que diz respeito a prevenção de acidentes, ou pior ainda, que apenas 5 tenham alcançado pontuação 3 neste mesmo princípio. Nossas apreensões se concentram, ainda, no relato de 11 dos 13 discentes depoentes, que garantem que na grande maioria das aulas experimentais o único EPI (Equipamento de Proteção Individual) cobrado é o jaleco, sendo o uso das Luvas, o óculos de proteção, e por diversas vezes, as calças compridas ou os sapatos fechados, totalmente negligenciados.

Observamos, também, uma total despreocupação no que tange ao uso de matérias primas renováveis, objeto de análise do princípio 7 da Química Verde, onde 56, dos 83 experimentos analisados, obtiveram pontuação 1. Questionamos, aqui, a formação dos futuros licenciados e químicos industriais, que atuarão dentro de uma sociedade cada vez mais apreensiva quanto ao uso abusivo de produtos não renováveis. Este docente está sendo preparado para as futuras discussões ao qual será exposto, e das quais será expoente, no exercício de sua magistratura? É lamentável o fato de que a resposta para tal pergunta certamente seja não. O mesmo pode-se afirmar do químico industrial formado nesse mesmo ambiente, que sem um embasamento satisfatório, da filosofia atrelada a Química Verde, desconhece a sua utilidade para a Indústria Química, no sentido de auxiliar o fortalecimento da sustentabilidade ambiental.

No que diz respeito a degradação dos produtos, item do princípio 10 da Química Verde, foi possível notar que apenas 21 dos 83 experimentos avaliados obtiveram pontuação 1 neste princípio. Trata-se de um dado relativamente satisfatório, apesar de ser notório que alguns avanços ainda sejam necessários neste quesito.

É notório o aspecto satisfatório quanto a redução das derivatações nos processos químicos realizados nas aulas analisadas. Foi possível observar que 100% dos experimentos que envolviam reações de síntese obtiveram pontuação 3 no

princípio 8 da Química Verde, que diz respeito a esta problemática. Este sucesso se dá pelo uso, nos experimentos objetos de análise, de meios que não fazem uso de agentes bloqueadores, ou de etapas de proteção e desproteção. Esta abstenção é viável, pois tais procedimentos aumentam ainda mais o uso de reagentes, o que acarreta na produção de mais resíduos.

Apesar de alguns aspectos positivos levantados durante as análises das disciplinas, objetos desta pesquisa, nossa preocupação no que se refere a formação do futuro profissional docente em química e do químico industrial é concreta e irreduzível. Durante a observação dos roteiros experimentais, e posteriormente na coleta dos depoimentos, com o dilema da formação de um docente ou de um profissional para atuar na indústria, carentes em discussões acerca da responsabilidade social e ambiental da produção química. Fica clara a premência da abertura de um rol, dentro da universidade, de discussões acerca dos impactos gerados, e do uso consciente desta metodologia de ensino.

É ainda mais inquietante a estagnação e falta de mobilização, por parte da comunidade acadêmica, frente aos graves impactos produzidos pelas disciplinas práticas dos cursos de Química Industrial e Licenciatura em Química. É inadmissível que tanto se discuta em torno das vertentes sociais e tecnológicas do uso da Química, que se fale exaustivamente nos constantes agravos a natureza, e ao planeta, causados pela ação humana, em todo o nosso caminhar acadêmico e que não reconheçamos nossos próprios erros e as atitudes pouco conscientes praticadas em nossos laboratórios.

CONCLUSÕES

Desta forma, consideramos insatisfatórias as disciplinas experimentais dos cursos de Química Industrial e Licenciatura em Química, do CCET-UEG, no que tange a formação de um profissional, docente ou químico industrial, ciente das implicações ambientais e sociais de sua prática em laboratório, e carente de instrução para o diálogo, seja em sala de aula ou na indústria, acerca dos efeitos da ação humana, no campo de sua formação, na natureza e no habitat onde nos encontramos inseridos. Alertamos, ainda, para falta de zelo, por parte de todos os envolvidos, no que se refere aos impactos, e aos excessos, do uso desta metodologia de ensino tão importante, e a total despreocupação com as consequências destes. Conclamamos, assim, o envolvimento de toda a comunidade acadêmica do CCET-UEG, em discussões internas e externas aos limites da universidade, para o estabelecimento de parâmetros nas rotinas laboratoriais, com vistas a diminuição, ou ao aniquilamento, das graves falhas detectadas. Somos desejosos, ainda, de que esta pesquisa reflexiva ecoe em nossos demais campus, e em outras IES, e que se façam valer medidas de redução dos efeitos das disciplinas experimentais com roteiros impensados no que concerne a sustentabilidade, e em vias menos poluentes da experimentação química.

Consideramos ainda, que o uso da Estrela Verde é muito útil como métrica para a análise de roteiros experimentais, didáticos ou para fins de pesquisa, com e sem uso de síntese, tendo seu uso justificado por diversas vantagens, entre elas a possibilidade de se analisar as atividades práticas sem a necessidade de realizá-las, eliminando assim possíveis impactos ambientais durante a realização da pesquisa, o fato desta métrica holística conseguir abranger, sozinha, todos os doze princípios da Química Verde, e por ser possível detectar, por simples inspeção visual, os resultados da análise em questão.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a todos os colaboradores que tornaram esta pesquisa possível: Os professores das disciplinas objetos do estudo, por terem gentilmente cedido suas apostilas como material para análise e aos alunos que aceitaram conceder as entrevistas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BENITE A. M. C.; BENITE C. R. M. O laboratório didático no ensino de química: uma experiência no ensino público brasileiro. **Revista Iberoamericana de Educación**. n. 48/2, pp. 1-2, 2009.
- CUNHA, S.; SANTANA, L. L. B de. Condensação de Knoevenagel de aldeídos aromáticos com o ácido de Meldrum em água: uma aula experimental de Química Orgânica Verde. **Química Nova**, v. 35, n. 03, pp. 642-647, 2012.
- FREIRE, P.; **Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa**, 43ª edição, Paz e Terra: São Paulo, 2011.
- GIORDAN, M. O Papel da Experimentação no Ensino de Ciências, **Química Nova na Escola**, n. 10, pp. 43-49, 1999.
- GONÇALVES, F. P.; MARQUES, C. A. A Problematização das Atividades Experimentais na Educação Superior em Química: Uma Pesquisa com Produções Textuais Docentes. **Química Nova**, v. 34, n. 05, pp. 899-904, 2011.
- MÓL, GÉRSO DE S.; MACHADO, P. F. L.; Resíduos e Rejeitos de Aulas Experimentais: O que Fazer? **Química Nova na Escola**, n. 29, pp. 38-40, 2008.
- RIBEIRO, GABRIELA T. C.; et al., **Uma Métrica Gráfica para Avaliação Holística da Verdura de Reações Laboratoriais – “Estrela Verde”**; **Química Nova**, v. 33, n. 3, pp. 759-764, 2010.