

# Aspectos do conhecimento pedagógico do conteúdo de química verde em professores universitários de química

Luciane Fernandes de Goes,<sup>1,3</sup> Sérgio Henrique Leal,<sup>2</sup> Paola Corio,<sup>3</sup> Carmen Fernandez<sup>1,3</sup>

## ABSTRACT (PCK aspects of Green Chemistry in university chemistry teachers)

This paper aims to document the pedagogical content knowledge (PCK) about Green Chemistry (GC) in professors from the Institute of Chemistry of the University of São Paulo, experts from traditional fields of chemistry and working in different undergraduate degrees – BS in Chemistry, Environmental Chemistry, Chemistry Teachers Education and Industrial Chemistry. Data were based on a questionnaire of 44 items answered by 26 teachers. Analyses of responses were individual and collective within the areas of expertise. In Grossman's model conceptions of purposes for teaching green chemistry were related to three models for teaching GC described in recent literature – traditional, contextualized and socio-scientific. Results revealed a significant dependence between teachers' content knowledge and PCK in terms of consistency between the purposes and strategies for teaching GC, understanding the difficulties of students and curriculum knowledge. Teachers from Organic Chemistry area, which has a closer relationship with the contents of GC, show a preference for a socio-scientific approach and show greater alignment and consistency between the different PCK components as compared with teachers from other areas of chemistry.

**KEYWORDS:** Green Chemistry, pedagogical content knowledge, sustainable development, undergraduate chemical education, university teachers

## Resumen

Este artículo busca documentar el conocimiento pedagógico del contenido (CPC) acerca de Química Verde (QV) en profesores del Instituto de Química de la Universidad de São Paulo, Brasil, que son expertos en los campos tradicionales de la química y laboran en diversos grados de licenciatura: Química, Química Ambiental, Educación de Profesores de Química e Industria Química. Los datos se obtuvieron de un cuestionario de 44 ítems aplicado a 26 profesores. El análisis de las respuestas se llevó a cabo tanto individual como colectivamente, agrupados por área de especialidad. Dentro del modelo de Grossman para los propósitos de la enseñanza de la QV se caracterizaron tres modelos tales como los descritos recientemente en la literatura: tradicional, contextualizado y socio-científico. Los resultados han revelado una dependencia significativa entre el conocimiento de la materia de los profesores y su CDC en términos de la consistencia entre propósitos y estrategias para la enseñanza de la QV, y la comprensión de las dificultades estudiantiles y el conocimiento curricular. Los profesores del área de Química Orgánica, que guarda una estrecha re-

lación con los contenidos de la QV, muestran una preferencia por el enfoque socio-científico y un fuerte alineamiento y consistencia entre las diversas componentes del CDC, cuando se los compara con profesores de las otras áreas de la química.

**Palabras clave:** Química Verde, conocimiento pedagógico del contenido, desarrollo sostenible, educación química de licenciatura, profesores universitarios

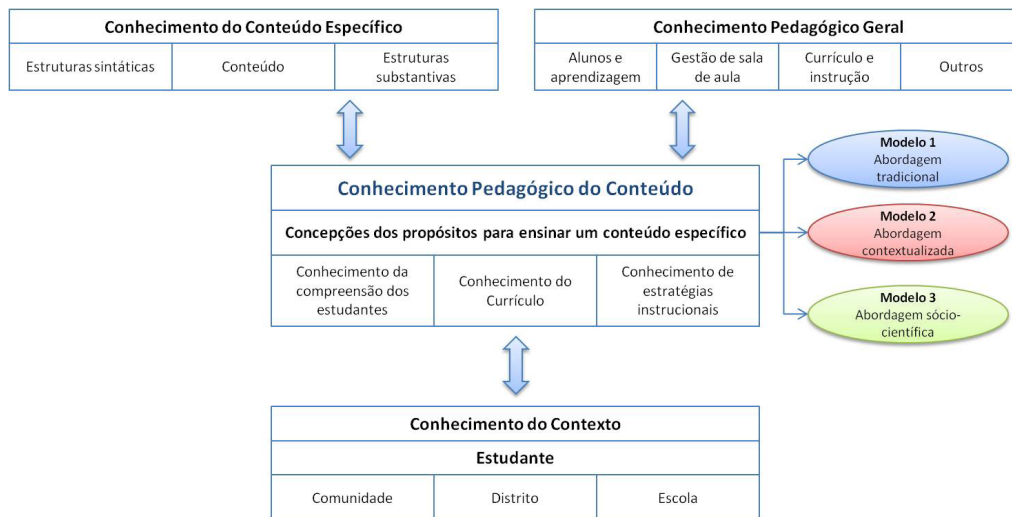
## Introdução

Conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK, *pedagogical content knowledge*) é um construto introduzido por Shulman (1986, 1987) para descrever o conhecimento que distingue um professor de um especialista da matéria. Shulman descreveu o PCK como o conhecimento educacional que é desenvolvido pelo professor para ajudar seus estudantes a aprenderem um assunto específico, no nosso caso, química. Ele diferenciou o conhecimento educacional de domínio específico (PCK) do conhecimento da química pura (os fatos e teorias da química) e do conhecimento pedagógico geral (as teorias sobre ensino-aprendizagem em geral). O conceito de PCK recebe diferentes interpretações e descrições na literatura, mas existe certo consenso de que este conhecimento se desenvolve ao longo da formação dos professores e no contexto de sua prática profissional (Abell, 2006, 2008, Loughran, Mulhall e Berry, 2004). PCK é considerado como um conhecimento central para a prática profissional de um professor e é descrito como um conhecimento necessário

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, luciane.goes@usp.br

<sup>2</sup> Universidade Federal do ABC, Santo André, São Paulo, SP, Brasil sergio.henrique@ufabc.edu.br

<sup>3</sup> Instituto de Química, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil, paola@iq.usp.br; carmen@iq.usp.br



**Figura 1.** Modelo da relação entre os domínios do conhecimento do professor (Grossman, 1990) vinculado aos modelos básicos para a implementação de aspectos relacionados ao desenvolvimento sustentável no ensino de química (Burmeister, Rauch e Eilks, 2012).

para o ensino efetivo em diversos documentos oficiais (Park e Oliver, 2008a).

Uma das maneiras de se descrever o PCK é identificar seus componentes principais. O primeiro modelo que caracterizou o PCK e também um dos mais usados foi o proposto por Grossman (1990). Para a autora, são quatro os componentes que interagem e formam o conhecimento base para o ensino: a) o conhecimento pedagógico; b) o conhecimento do conteúdo; c) o conhecimento pedagógico do conteúdo, e d) o conhecimento do contexto. Dentre estes, o conhecimento pedagógico do conteúdo é aquele que interage com todos os outros. Nesse modelo, o PCK é primordialmente dependente das concepções dos propósitos para ensinar um conteúdo específico de um dado professor e é definido como sendo constituído pelos conhecimentos: i) da compreensão dos estudantes; ii) do currículo, e iii) das estratégias instrucionais (Figura 1).

A qualidade do PCK de um professor relaciona-se ao conhecimento de cada um desses componentes, sendo mais do que a soma do repertório de componentes individuais. O PCK refere-se à *transformação e/ou integração* entre esses componentes e depende da combinação coerente entre eles (Guess-Newsome, 1999; Padilla e Van Driel, 2011; Park e Chen, 2012). A literatura descreve ainda algumas características fundamentais do PCK como construto (Abell, 2006, 2008), a saber: i) o PCK é específico em relação a um determinado conteúdo, e tal especificidade é a essência da ideia original de Shulman; ii) PCK inclui categorias discretas de conhecimento, as quais são combinadas de maneira sinérgica na prática de professores; iii) sua natureza é dinâmica; iv) PCK envolve a transformação de outros tipos de conhecimentos.

O conceito de PCK tem sido usado com diferentes objetivos em pesquisas em ensino de ciências. Tais objetivos incluem: investigar a própria natureza do PCK como conceito (Park e Oliver, 2008b), o estudo das relações entre PCK e a formação de professores (Loughran, Mulhall e Berry, 2008), o estudo das conexões entre PCK e outras bases de conhecimento, tais como conhecimento pedagógico ou conheci-

mento de conteúdo (Rollnick *et al.*, 2008), a integração entre os componentes do PCK (Padilla e Van Driel, 2011; Park e Chen, 2012), ou ainda a natureza e a estrutura do PCK de professores (e o seu desenvolvimento) em relação a conteúdos específicos.

Considerando-se o conjunto dos trabalhos dedicados à investigação do PCK de professores a respeito de determinado assunto, duas amplas categorias podem ser identificadas: uma no contexto de conteúdos específicos e outra em relação a assuntos mais gerais do ensino de ciências. Assim, alguns trabalhos são dedicados ao estudo do PCK de professores a respeito de conteúdos como, por exemplo, quantidade de matéria (Padilla *et al.*, 2008), química ácido base (Drechsler e Van Driel, 2008), e química quântica (Padilla e Van Driel, 2011); enquanto outros buscam investigar o PCK de professores a respeito de aspectos mais gerais do ensino de ciências, como aprendizagem baseada em investigação (Espinosa-Bueno *et al.*, 2011), modelos e modelagem (Justi e Gilbert, 2002; Henze, Van Driel e Verloop, 2007), ou ainda a natureza da ciência (Faikhamta, 2012). Nesse contexto, a Química Verde pode ser pensada tanto como um conteúdo específico (por ser caracterizada por um objeto de estudo em si e conceitos próprios e característicos), quanto como um aspecto mais geral do ensino de ciências, intimamente relacionada à educação voltada ao desenvolvimento sustentável (EDS).

## Química Verde

A Química Verde (QV) vem se constituindo, cada vez mais, em abordagem fundamental para se enfrentar os desafios representados pela preservação do ambiente em um mundo em contínuo e acelerado desenvolvimento. A QV consiste no planejamento de produtos e processos químicos no sentido de minimizar, ou mesmo eliminar, o uso de substâncias perigosas e a geração de poluentes como resíduos ou subprodutos. O conhecimento químico é empregado para o desenvolvimento de metodologias e processos que buscam proteger a saúde humana e o ambiente de uma forma eco-

nomicamente viável (Anastas e Kirchhoff, 2002). Para isso, a abordagem da QV se volta para a prevenção da poluição nos níveis atômico e molecular – isto é, impedir a produção de substâncias indesejáveis, em vez de se dedicar ao tratamento e descarte adequado de resíduos depois que estes foram gerados. Volta-se ainda ao desenvolvimento de produtos e processos intrinsecamente seguros, busca a eficiência no uso de energia e a utilização de fontes renováveis de energia e matéria prima.

A importância da QV no atual cenário do desenvolvimento mundial não pode ser minimizada. A demanda por profissionais capacitados nas diversas áreas da química tende a crescer, e para que sejam protagonistas do processo de crescimento sustentável, sua capacitação deve incluir a incorporação da QV como parte indissociável de sua prática profissional. Isso somente será possível com a difusão da QV nas diversas instâncias da formação de químicos, professores de química e engenheiros químicos.

Nesse contexto, a adoção do enfoque possibilitado pela QV no ensino de química em diferentes níveis tem recebido significativa atenção na literatura recente (Eilks e Rauch, 2012; Burmeister e Eilks, 2012; Burmeister, Rauch e Eilks, 2012; Mandler *et al.*, 2012; Karpudewan, Ismail e Roth, 2012; Andraos e Dicks, 2012; Marques, 2012). A QV fornece ao aluno a oportunidade de fazer conexões entre a química, outras disciplinas, e aspectos do dia a dia. A importância desse tópico, além do aprendizado de conceitos básicos de química, relaciona-se à capacidade para participar do desenvolvimento da sociedade, tal como discutido nos termos do ensino para o desenvolvimento sustentável (Eilks e Rauch, 2012). O esforço para integrar a QV especificamente ao currículo de professores é ainda consistente com as necessidades de tornar a educação voltada para o desenvolvimento sustentável, influenciando aspectos motivacionais e atitudinais (Karpudewan, Ismail e Roth, 2012; Karpudewan, Ismail e Mohamed, 2009). A QV, através da aplicação e extensão de seus 12 Princípios é considerada um instrumento para a sustentabilidade (Braun *et al.*, 2006; Wardencki, Curylo e Namiesnik, 2005; Corney e Reid, 2007).

Em um trabalho recente, Burmeister, Rauch e Eilks (2012) propuseram modelos básicos para a implementação de aspectos relacionados ao desenvolvimento sustentável no ensino de química em nível médio e superior, e são descritos a seguir:

**Modelo 1. Incorporação dos princípios da QV em procedimentos experimentais:** tal abordagem envolve a transformação dos tradicionais experimentos em experimentos orientados de acordo com os princípios da QV. Esse modelo pode ajudar a evidenciar como a pesquisa em química e as indústrias químicas podem buscar a minimização do uso de recursos materiais e energéticos, a diminuição da geração de resíduos, e a proteção do ambiente de maneira geral. Nessa abordagem a ênfase não recai de maneira significativa sobre aspectos mais controversos a respeito de

decisões sobre tecnologias alternativas, ou sobre a complexa interligação entre ciência, tecnologia e sociedade.

**Modelo 2. Incorporação de estratégias sustentáveis como conteúdo no currículo de Química:** nesse modelo, os princípios de química que embasam as estratégias usadas para contribuir ao desenvolvimento sustentável e à QV, bem como suas aplicações industriais, são trabalhados como conteúdos específicos no currículo. Um ponto importante nessa abordagem é o seu potencial de evidenciar os princípios fundamentais de química envolvidos em processos e produtos utilizados no dia a dia, tornando-os mais significativos (Pilot e Bulte, 2006).

**Modelo 3. Uso de questões de sustentabilidade associadas a aspectos sócio-científicos:** esse modelo busca abordar conteúdos de química através do uso de questões sócio-científicas no contexto de debates sociais controversos. Tem seu foco principal na abordagem de como os desenvolvimentos da química podem ser avaliados na sociedade considerando-se as diversas dimensões da sustentabilidade, ou seja, busca a compreensão de como a química é relacionada com a sociedade, economia e ambiente. Tal abordagem tem uma significativa orientação ao desenvolvimento de habilidades com foco em EDS.

Assim, o presente trabalho tem por objetivo central documentar o PCK de Química Verde de professores universitários do Instituto de Química da Universidade de São Paulo atuantes em diferentes disciplinas nos cursos de graduação em Química, Química Ambiental, Química Industrial e Licenciatura em Química.

## Metodologia

### Sujeitos de pesquisa

Nessa pesquisa participaram vinte e seis professores do Instituto de Química da Universidade de São Paulo, atuantes em diferentes áreas de pesquisa, a saber: cinco da área de Físico-química, cinco da Orgânica, três da Inorgânica, dez da Analítica, e três da Bioquímica.

### Coleta de dados

Com intuito de acessar e documentar aspectos do PCK dos professores foi elaborado um questionário buscando contemplar aspectos específicos do ensino da QV, levando em consideração os elementos do PCK contemplados no modelo de Grossman. Para isso, foram identificadas na literatura ideias centrais para o ensino de QV. Os professores se posicionaram frente à ênfase recebida por diferentes aspectos da QV nas suas disciplinas (alta/média/baixa) e estimaram o conhecimento dos alunos a respeito de cada um dos aspectos. O questionário apresentava itens que abordavam aspectos do **conhecimento do conteúdo** (10 itens), do **conhecimento da compreensão dos alunos** (10), **conhecimento**

**Tabela 1.** Códigos associados com conhecimento das estratégias de ensino, de currículo e conhecimento da compreensão dos estudantes relacionados a cada modelo curricular para Química Verde no ensino superior.

Componente do PCK	Subcomponente	Categorias	Concepções dos propósitos do ensino de QV
Conhecimento de estratégias de ensino	Estratégias específicas	Incorporação dos princípios da QV em procedimentos experimentais.	Modelo 1
		Incorporação de estratégias sustentáveis como conteúdo no currículo de Química.	Modelo 2
		Debates sobre novas tecnologias: abordagem de aspectos controversos.	Modelo 3
Conhecimento do currículo	Conhecimento dos objetivos de aprendizagem	Permitir aos estudantes a incorporação dos conceitos da QV em sua atuação profissional.	Modelo 1
		Compreensão de conceitos de química através das relações com aplicações tecnológicas/questões ambientais.	Modelo 2
		Aumentar a compreensão sobre o impacto e o papel da ciência na sociedade.	Modelo 3
		Enfatizar o papel da química nas questões de sustentabilidade.	
	Conceitos centrais	Instrumentos da QV.	Modelos 1 e 2
		Aplicações gerais da QV.	Modelo 3
	O momento no currículo	Disciplinas Experimentais.	Modelo 1
		Princípios da QV como conteúdos específicos no currículo (disciplina à parte).	Modelo 2
		Princípios da QV incorporados às disciplinas tradicionais ao longo do currículo.	Modelo 3
	Conhecimento da compreensão dos estudantes	Dificuldades de aprendizagem	Dificuldades em conteúdos básicos de química.
Necessidade de integração de conceitos de diversas áreas da química.			
Necessidade de abordagens multidisciplinares.			Modelo 3
Necessidade de relacionar aspectos de química a aspectos relacionados aos sistemas produtivos, sociais, econômicos, etc.			

das estratégias instrucionais (7), do conhecimento do currículo (6), do conhecimento do contexto (5) e do conhecimento das dificuldades dos alunos (6) associadas à abordagem de QV.

### Análise de dados

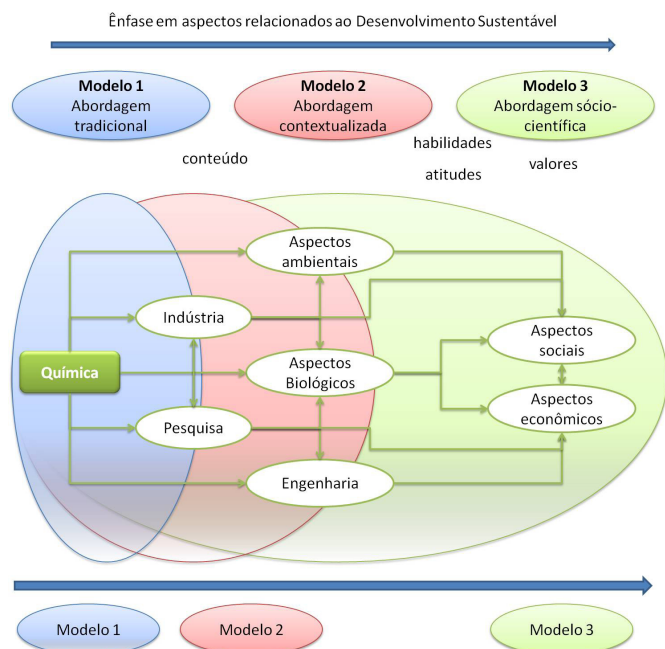
O modelo de Grossman (Figura 1) foi utilizado onde os elementos do PCK e os domínios dos conhecimentos base de professores estão apresentados. Para o componente “concepções dos propósitos para ensinar o conteúdo de QV” utilizamos os modelos de lidar com a QV no ensino (Burmeister, Rauch e Eilks, 2012). Assim, as concepções são descritas: **modelo 1.** Adoção dos princípios da QV nas práticas de laboratório; **modelo 2.** Incorporação de estratégias de sustentabilidade como conteúdo de química (contextualização), e **modelo 3.** Uso de temas controversos de sustentabilidade (questões sócio-científicas). Os diferentes itens do questionário foram relacionados a esses modelos. Os professores posicionaram-se a respeito da relevância de cada aspecto da QV no currículo (alta/média/baixa). Para cada resposta, foram atribuídos os valores: alta: 2; média: 1; baixa: 0. Os valores foram somados e foi feita uma média considerando-se o número total de itens relacionado a cada modelo considerado. Assim, os valores finais atribuídos à concepção de cada professor em relação a cada aspecto varia entre 0 e 2: se um professor descreveu todos os itens como relevância alta, atribuiu-se o valor 2; se descreveu todos os itens como relevância baixa, atribuiu-se o valor 0. Os dados foram analisados utilizando-se o esquema da tabela 1.

## Resultados e Discussão

### Concepções dos propósitos de ensinar QV: modelos para o ensino da QV

Este item investiga os modelos para o ensino da QV considerados ideais pelos professores para cada modalidade de graduação. Os modelos para a incorporação da QV ao currículo de Química são interpretados em termos dos componentes do PCK. As associações propostas entre tais modelos e os componentes do PCK são descritas a seguir.

O **modelo 1** envolve a incorporação dos princípios da Química Verde em procedimentos experimentais e reflete uma concepção que pode ser considerada mais tradicional. Esse modelo combina objetivos de ensino focados principalmente nos princípios da Química Verde e nos conceitos básicos de química que embasam tais princípios. Os conceitos principais a serem abordados são os chamados instrumentos da QV. Em termos das dificuldades dos estudantes nesse modelo ressalta-se a necessidade de integração de conceitos das diferentes áreas da química. O **modelo 2** reflete uma concepção contextualizada, a qual combina estratégias de ensino que buscam conexões entre princípios de química e o contexto da indústria química e objetivos de ensino voltados a melhorar a compreensão de conceitos de química através das suas relações com aplicações tecnológicas e questões ambientais. Em termos de currículo, tais objetivos podem ser adequadamente contemplados em uma disciplina à parte, voltada aos conteúdos específicos da QV. O **modelo 3** alinha-se a uma abordagem sócio-cien-



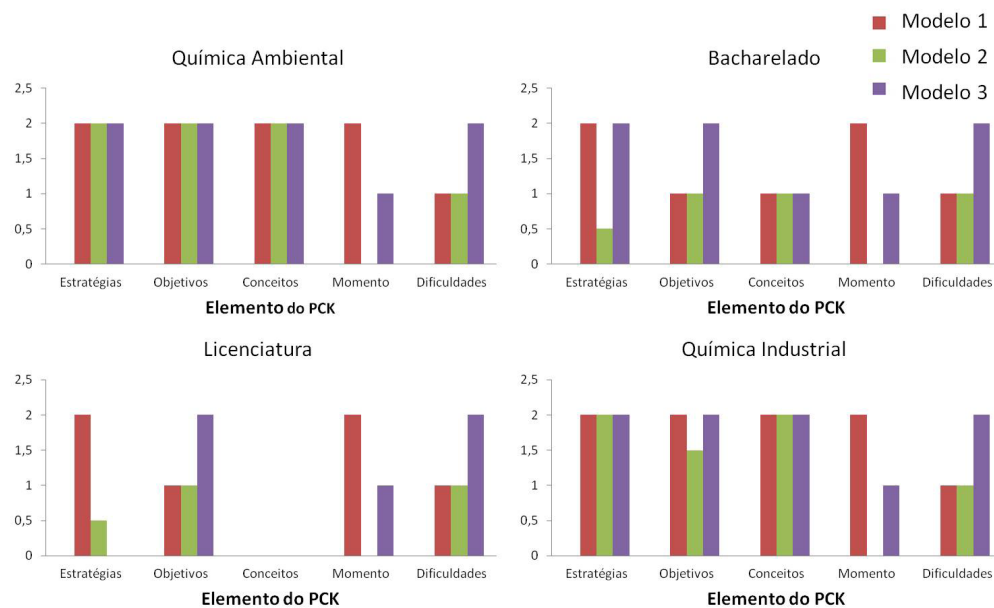
**Figura 2.** Representação esquemática de características atribuídas aos modelos tradicional, contextualizado e sócio-científico para a abordagem da Química Verde no ensino de Química.

tífica, combina estratégias de ensino baseadas em resolução de problemas e grupos de discussão voltados aos aspectos controversos sobre tecnologias alternativas, a objetivos de ensino relacionados ao desenvolvimento de habilidades e atitudes com foco no desenvolvimento sustentável. As principais dificuldades dos estudantes em relação a esse modelo concentram-se na necessidade de abordagens multidisciplinares (combinam a química com outras disciplinas como

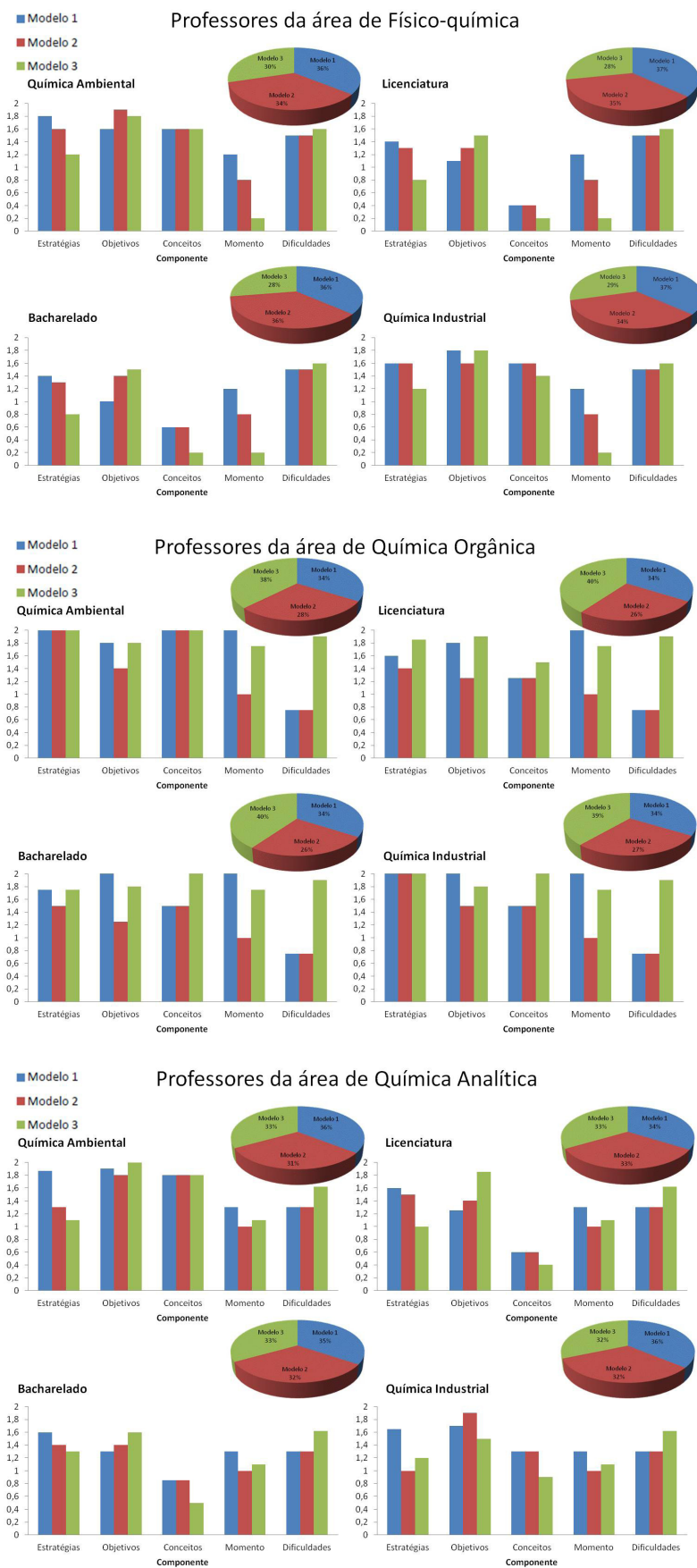
toxicologia, biologia, ecologia, etc.) e a necessidade de relacionar aspectos da química aos sistemas produtivos, sociais, econômicos, etc. A implementação do modelo 3 depende da incorporação e discussão dos princípios da Química Verde ao longo das disciplinas tradicionais do currículo (Figura 2).

Os modelos 1 e 2 são mais fortemente relacionados a aspectos de conteúdo, enquanto o modelo 3 tem particular ênfase em aspectos relacionados a atitudes e valores. O modelo 1 é principalmente centrado em conceitos de química, assim como o modelo 2, o qual agrega um foco mais acentuado nas relações entre química, sistema produtivo e ambiente e, no modelo 3, o foco relacionado a aspectos econômicos e sociais adquire maior ênfase.

O PCK é um conhecimento individual, e assim, a análise foi feita individualmente para cada professor investigado. Para isso, a concepção de cada professor para cada elemento foi quantificada em relação aos três modelos para a abordagem da QV. As concepções dos professores foram analisadas considerando-se as seguintes cinco dimensões: *estratégias específicas; objetivos de ensino; conceitos fundamentais; momento de abordagem; e dificuldades dos estudantes*. Foram analisados os seguintes aspectos: i) qual modelo curricular prevalece para cada componente do PCK; ii) a existência de relação entre os componentes; iii) as diferenças de concepções para cada modalidade do curso; quais componentes são mais afetados; iv) o grau de importância atribuído para cada aspecto da abordagem da QV em cada modalidade de graduação. Ainda que o PCK seja um conhecimento individual, é interessante que se busquem tendências e padrões. Os resultados são analisados de maneira a caracterizar as visões individuais e visão do conjunto dos professores das diferentes áreas da química.



**Figura 3.** Contribuição relativa de cada modelo calculado em relação aos componentes *estratégias de ensino, objetivos de ensino, conceitos principais, momento no currículo e dificuldades dos estudantes* para um professor da área de Físico-química para cada modalidade de graduação. O eixo y refere-se ao quanto o aspecto específico é valorizado pelos professores, medido em uma escala de 0 a 2 (0 significa pouco importante, 2 significa muito importante.)



**Figura 4.** Contribuição relativa de cada modelo calculado em relação aos componentes estratégias de ensino, objetivos de ensino, conceitos principais, momento para inserção no currículo e dificuldades dos estudantes para o conjunto de professores de cada área da Química para cada modalidade de graduação. Os dados inseridos mostram a contribuição relativa de cada modelo calculados no total em cada caso. O eixo y refere-se ao quanto o aspecto específico é valorizado pelos professores, medido em uma escala de 0 a 2 (0 significa pouco importante, 2 significa muito importante).

### a) Análise Individual

Inicialmente o tratamento de dados foi feito de forma individual para cada professor. Buscamos quantificar a orientação dos diferentes elementos do PCK de cada professor em relação aos três modelos descritos. Um exemplo é apresentado na Figura 3.

Observa-se nesse caso uma significativa variação de concepções em relação aos diferentes cursos, o que reflete a importância significativa do contexto. Por exemplo, em termos de estratégias de ensino, o professor em questão orienta-se na direção dos três modelos considerando-se os cursos de Química Ambiental e Química Industrial. Em relação ao curso de Bacharelado, o professor orienta-se na direção aos modelos 1 e 3, e no caso da Licenciatura, a ênfase recai sobre o modelo 1. Em termos de objetivos de ensino, os objetivos contemplados pelos três modelos são considerados relevantes nos casos de Química Ambiental e Industrial, ao passo que os objetivos dos modelos 1 e 2 perdem importância para os cursos de Licenciatura e Bacharelado. Em termos de conceitos, esse professor atribui a mesma importância relativa aos conceitos associados aos três modelos em todos os casos. Porém, em termos absolutos, observa-se que esse professor atribui grande importância aos conceitos da Química Verde para os currículos de Química Ambiental e Industrial, importância média no caso do Bacharelado, e pouca importância para a abordagem desses conceitos no caso da Licenciatura. Em termos do momento no qual os conceitos da Química Verde devem ser abordados, esse professor revela uma preferência pela inclusão desse tópico ao longo das disciplinas teóricas e experimentais do currículo, em detrimento a uma disciplina distinta no currículo. Finalmente, em termos das dificuldades dos estudantes para a adequada compreensão da Química Verde, o professor em questão ressalta a necessi-

dade de abordagens multidisciplinares, as quais relacionam aspectos de química aos sistemas produtivos, sociais, econômicos, etc.

Um importante aspecto a ser analisado refere-se à interação entre os diferentes componentes e sub-componentes do PCK de cada professor. No exemplo em questão, é interessante notar que, em alguns casos, observa-se pouca coerência entre os diferentes elementos do PCK. Essa característica torna-se bastante evidente na descrição obtida para o curso de Licenciatura. Enquanto seus objetivos de ensino encontram-se centrados no modelo 3, suas estratégias de ensino não valorizam tal modelo. Outro dado relevante nesse caso refere-se ao fato de que, ao mesmo tempo em que o professor valoriza estratégias e objetivos do ensino da Química Verde, pouca importância é atribuída aos conceitos específicos da área. Por outro lado, uma coerência maior é observada nas suas visões dos cursos de Química Ambiental e Química Industrial. Tal análise foi feita para todos os professores participantes, e na seção seguinte descrevemos em detalhes padrões de comportamentos observados considerando-se professores de diferentes áreas da Química.

#### b) Análise por áreas da Química

A Figura 4 mostra a análise quantitativa realizada considerando-se os resultados médios para cada conjunto de professores que atuam em termos de pesquisa e ensino em diferentes áreas básicas da química, a saber: físico-química, química analítica e química orgânica. Busca-se quantificar as orientações do conjunto de professores de cada área sobre as cinco dimensões descritas acima a respeito da QV em relação aos três modelos para a abordagem de tais aspectos. Busca-se ainda analisar a existência de diferentes concepções para cada modalidade do curso de graduação, o grau de importância atribuído para cada aspecto da abordagem da QV pelos professores das diferentes áreas para cada modalidade de graduação; bem como a existência de relações entre as orientações que prevalecem para cada componente analisado. Através dessa análise, podemos caracterizar a contribuição relativa de cada modelo ao currículo considerando-se diferentes aspectos. Os resultados apresentados na Figura 4 mostram algumas tendências interessantes. Torna-se clara a existência de padrões diferenciados para cada conjunto de professores, bem como em relação às diferentes modalidades de graduação.

Uma primeira análise geral refere-se aos modelos predominantes para cada grupo de professores. A tendência que se revela sugere uma ênfase maior nos modelos 1 e 2 para o conjunto de professores da Físico-química, uma ênfase maior em relação ao modelo 3 para os professores da Química Orgânica (ca. 40% das respostas) e uma distribuição equivalente para o conjunto de professores da Química Analítica (cada modelo recebe ca. 1/3 das respostas). Tais distribuições são bastante parecidas para as diferentes modalidades de graduação.

As diferentes concepções em relação às modalidades de graduação são apenas evidenciadas quando se analisam especificamente as concepções em relação aos diferentes componentes do conhecimento dos professores (gráficos de barras).

Analisando-se inicialmente os padrões obtidos para os professores da Físico-química, observa-se para os cursos de Química Ambiental, Bacharelado e Licenciatura em termos de estratégias de ensino a seguinte tendência: modelo 1 > modelo 2 > modelo 3; ou seja, a preferência recai em estratégias baseadas na incorporação dos aspectos da Química Verde às práticas experimentais. Apenas para o caso da Química Industrial, o modelo 2 adquire uma maior ênfase. Considerando-se o aspecto ligado aos objetivos de ensino, os resultados obtidos para os cursos de Licenciatura e Bacharelado mostram uma inversão de tendências, ou seja, observa-se uma preferência crescente no sentido: modelo 1 < modelo 2 < modelo 3. Nesses casos, objetivos de ensino são centrados em aspectos que vão além do conteúdo químico, contemplam a aquisição de valores relacionados à sustentabilidade e buscam aumentar a compreensão sobre o impacto e o papel da ciência na sociedade. Nesses casos, não se observa uma significativa coerência entre os aspectos relacionados às estratégias e objetivos de ensino. Uma coerência maior é encontrada para os cursos de Química Ambiental e Industrial. Considerando-se especificamente a dimensão relacionada aos conceitos a serem abordados, os três modelos são igualmente valorizados para o curso de Química Ambiental, enquanto os modelos 1 e 2 são relativamente mais enfatizados para os demais cursos.<sup>3</sup> Além disso, observa-se uma variação interessante no aspecto intensidade, ou seja, o grau de importância associado pelos professores ao aspecto em questão. Nesse sentido, é evidente que a abordagem dos conceitos da QV é considerada por esses professores mais importante para as modalidades de Química Ambiental e Industrial, e menos importante para as modalidades de Licenciatura e Bacharelado. Em relação ao momento para a abordagem da QV, observa-se a tendência, modelo 1 > modelo 2 > modelo 3, de maneira bastante consistente ao componente *estratégias de ensino*. Esses professores consideram que existem poucas oportunidades para a inserção da QV ao longo do currículo, ou seja, valorizam os mecanismos que imprimem menores modificações ao currículo como um todo: uso de disciplinas experimentais e inclusão de disciplina específica. Considerando-se finalmente a dimensão relacionada às dificuldades dos estudantes em relação à compreensão da QV, os resultados mostram que as dificuldades ligadas ao modelo 3 são consideradas maiores. Tal concepção é também observada entre os professores das demais áreas investigadas. Desta forma, as maiores dificuldades dos alunos residem na necessidade de relacionar

<sup>3</sup> Não foi feita uma distinção entre os modelos 1 e 2 considerando-se o aspecto relacionado a *conceitos fundamentais*.

aspectos da química a aspectos de outras ciências.

Considerando-se os padrões observados para os professores da Química Orgânica e Analítica, observam-se alguns aspectos diferenciados. Em relação às estratégias de ensino, os professores da Química Orgânica atribuem ênfase equivalente para os três modelos para os casos da Química Ambiental e Industrial. Chama a atenção ainda que essa ênfase adquira nesses casos seu valor máximo (2,0), isto é, todos os professores dessa área consideram essa combinação de estratégias como “muito importante”. Nos casos da Licenciatura e Bacharelado, as estratégias baseadas no modelo 2 se tornam menos importantes. Já os professores da Química Analítica apresentam um padrão semelhante aos professores da Físico-química nesse aspecto, e demonstram preferência pelo modelo 1. Em relação às dificuldades dos estudantes, os professores da Química Orgânica – diferentemente dos professores da Físico-química e Química Analítica – entendem que existe pouca dificuldade em relação aos modelos 1 e 2, sendo assim, consideram que os alunos apresentam poucas dificuldades em termos de conceitos de Química. Ainda no caso dos professores da Química Orgânica, um aspecto evidente é a valorização do modelo sócio-científico em especial para a modalidade da licenciatura, de forma coerente, considerando-se todos os aspectos analisados. A tendência observada é a valorização dos objetivos de ensino ligados ao modelo 3 para o curso de licenciatura. Tais objetivos incluem, além dos conceitos de química, a reflexão sobre a aplicação prática desses conceitos em aspectos tecnológicos ou sociais como conteúdos a serem aprendidos, sendo que esse aspecto encontra-se bastante valorizado pelos professores investigados para o curso de Licenciatura. É relevante ainda mencionar a importância atribuída pelos professores de Química Orgânica ao ensino de QV em todas as modalidades, conforme revelado pelas maiores intensidades para todos os aspectos analisados em comparação aos professores das demais áreas. De maneira geral, os seguintes padrões são observados.

As estratégias baseadas na incorporação de QV a práticas experimentais são sempre bastante valorizadas – para todos os conjuntos de professores e em relação a todas as modalidades de graduação. Em termos de objetivos de ensino, os professores de todas as áreas demonstram uma ligeira preferência pelos objetivos contemplados pelo modelo 3, ou seja, valorizam uma abordagem multidimensional buscando a compreensão da química em relação a seus impactos ambientais, ecológicos, econômicos e sociais como um todo. Considerando-se o aspecto ligado à importância no currículo (revelado pelos valores de intensidade) observa-se maior importância para a abordagem da QV para os cursos de Química Ambiental e Industrial, e menor para os cursos Bacharelado e Licenciatura: isso é bastante evidente no conjunto de professores da físico-química, mas pode ser observado também nos outros casos. Assim, um considerável resultado que emerge é a relativa maior importância atribuída aos aspectos da QV em relação aos cursos de Química

Ambiental e Industrial. A distribuição de ênfases em relação aos componentes específicos também depende do contexto do curso considerado, sendo que, mais uma vez, observam-se concepções semelhantes para um primeiro conjunto formado por Química Ambiental e Industrial e um segundo conjunto formado por Bacharelado e Licenciatura. De maneira geral, para a formação do pesquisador e professor, aspectos relacionados ao modelo 3 assumem maior ênfase. Considerando-se finalmente a dimensão relacionada às dificuldades para o ensino da Química Verde, a seguinte tendência é observada: modelo 3 > modelo 2 > modelo 1. De fato, sendo o modelo 3 aquele mais focado em aspectos do desenvolvimento sustentável e, dependendo de aspectos que vão além dos domínios da Química, sua implementação oferece um desafio significativamente maior.

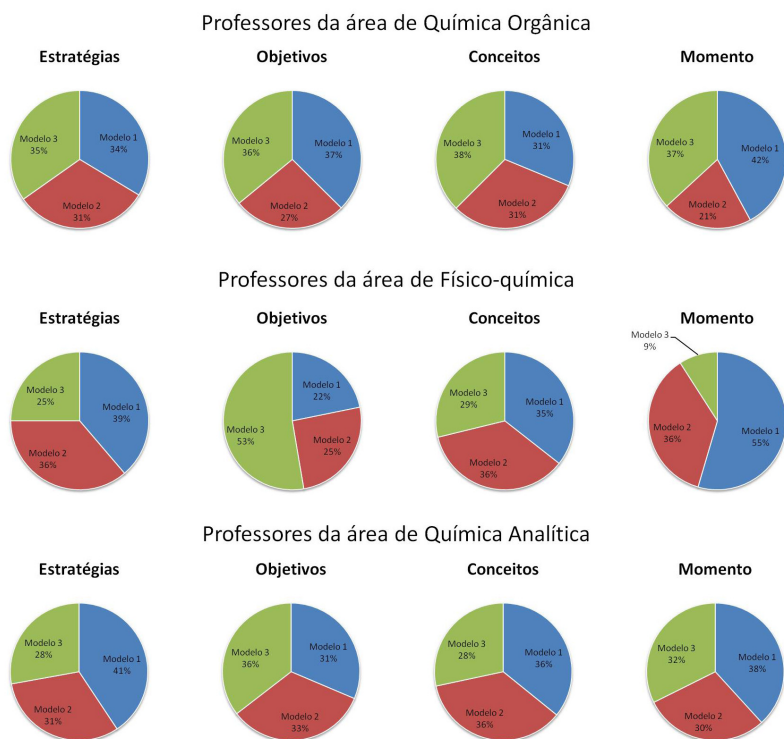
### Componentes do PCK: compreensão dos estudantes, currículo e estratégias instrucionais

Um importante ponto a ser discutido refere-se à existência de relações entre os componentes específicos. De fato, o ensino efetivo de determinado tópico depende da integração coerente e sinérgica entre os diferentes elementos, ou seja, é importante que haja alinhamento entre estratégias de ensino, objetivos almejados, conteúdos selecionados, etc. Especificamente, buscamos identificar e analisar a existência de relações entre componentes específicos do PCK em relação a Química Verde. Embora a análise a esse respeito tenha sido feita de forma individual para cada professor, padrões foram observados entre professores da mesma área. Deste modo, embora cada professor tenha uma diferente estrutura em seu PCK, existem algumas tendências que podem ser observadas e, por isso, optou-se por apresentar comportamentos médios (Figura 5).

Observa-se no caso dos professores da área de Química Orgânica uma relativa coerência entre os quatro componentes analisados, sendo que um padrão similar de distribuição de porcentagens entre os três modelos é observado em todos os casos. Assim, na Química Orgânica, de maneira sinérgica, a ênfase nos objetivos mais amplos é acompanhada por uma preferência por estratégias mais orientadas à inclusão de aspectos mais controversos da ciência, bem como a uma consistente orientação para a abordagem dos aspectos da QV ao longo de todo o currículo de formação do químico. Para os professores da Química Orgânica, a articulação entre os principais componentes do PCK torna-se evidente.

Por outro lado, um padrão diferente ocorre para o conjunto dos professores da Físico-química ou Química Analítica. Nesses casos, enquanto estratégias de ensino, conceitos considerados importantes e o momento de abordagem da QV são centrados principalmente nos modelos 1 e 2 (modelo 1 com maior importância relativa), os objetivos para o ensino da QV são centrados no modelo 3. Assim, enquanto as estratégias preferidas por esses professores são baseadas em uma abordagem que pode ser considerada tradicional,





**Figura 5.** Contribuição relativa de cada modelo calculado para professores de diferentes áreas da Química observada para os seguintes componentes: estratégias de ensino, objetivos de ensino, conceitos e momento no currículo para a abordagem da QV.

tendo seu foco em aspectos do conteúdo, os objetivos de ensino desses professores contemplam de maneira significativa aspectos mais abrangentes, que incluem além do conteúdo de química e suas interfaces com o sistema produtivo (característicos dos modelos 1 e 2), e o entendimento de questões relacionais aos aspectos sociais da ciência. Ou seja, estratégias e conteúdos tradicionais são acompanhados por objetivos significativamente mais amplos. Em resumo, enquanto os componentes do conhecimento sobre estratégias e currículo são bastante congruentes, o componente relacionado aos objetivos de ensino orienta-se de maneira distinta.

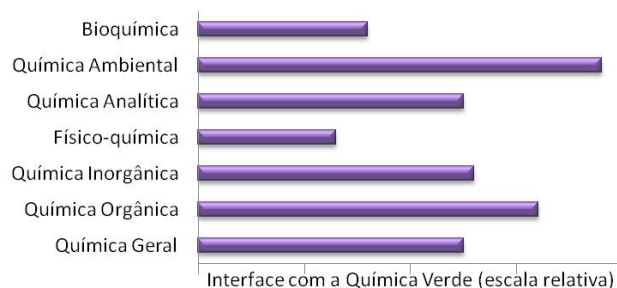
O alinhamento mais efetivo entre os diferentes componentes observados para a área de Química Orgânica talvez se relacione à maior proximidade e afinidade dessa área em relação à Química Verde. De fato, reações orgânicas estão presentes em inúmeros métodos industriais, e a química orgânica tem várias unidades curriculares com conexões estreitas com a QV. Esta coerência observada entre os vários elementos pode ainda ser relacionada à maior inclinação dos docentes dessa área em relação a uma abordagem mais complexa da Química Verde, representada pelo modelo 3, e à maior importância atribuída por esse grupo de professores para a abordagem da QV ao longo dos currículos de todas as modalidades investigadas.

### Abordagem dos Conceitos de Química Verde ao longo das disciplinas específicas

Este item investiga a concepção dos professores sobre as possibilidades de inserção da Química Verde no currículo dos cursos de graduação ao longo das disciplinas do currículo,

considerando-se as áreas da Química. Os professores selecionaram a ênfase a ser recebida pelos princípios da Química Verde nas disciplinas de Química Geral, Química Orgânica, Química Inorgânica, Físico-química, Química Analítica, Química Ambiental e Bioquímica. Os resultados são apresentados na Figura 6.

Alguns conceitos das áreas tradicionais da química tem significativa relação com a QV, e podem ser abordados nesse contexto. A proximidade entre a QV e as disciplinas de Química Ambiental e Orgânica é evidente. Na disciplina de Química Ambiental existem inúmeras interfaces com aspectos da QV, dentre as quais se ressaltam o estudo do comportamento, transporte e destino de compostos no ambiente, a compreensão de que não é possível determinar com precisão o destino de cada composto usado ou gerado em uma reação ou processo, o que justifica a importância do uso de substâncias “ambientalmente benignas”,



**Figura 6.** Oportunidades de abordagem dos princípios da Química Verde ao longo das disciplinas das áreas tradicionais de Química.

bem como aspectos relacionados à persistência ambiental. Considerando-se a perspectiva da Química Orgânica, é importante mencionar o aspecto relacionado às relações entre a estrutura e atividade, base da compreensão dos possíveis impactos ambientais de um composto. Ressalta-se também o fato de que reações não devem ser apenas avaliadas em termos de conversão e seletividade, mas também eficiência, sustentabilidade, reciclabilidade, desenho para a degradação, e diminuição de riscos. Ainda, a maior parte dos exemplos da literatura sobre aplicações da Química Verde origina-se de uma perspectiva orgânica. No contexto de sínteses otimizadas, importantes exemplos incluem moléculas farmacêuticas, como por exemplo, o ibuprofeno (Cann e Connelly, 2000). Da mesma forma, a maior parte do material didático disponível sobre QV foi desenvolvido na área de Química Orgânica (Andraos e Dicks, 2012). A Figura 5 sugere ainda que as disciplinas de Química Geral, Química Inorgânica e Química Analítica apresentam oportunidades semelhantes para a abordagem da QV, e importância menor é atribuída às disciplinas de Bioquímica e Físico-química.

## Conclusões

O presente trabalho teve por objetivo documentar o PCK de QV de professores universitários atuantes em distintos cursos de graduação – Bacharelado em Química, Química Ambiental, Química Industrial e Licenciatura em Química. Nosso interesse era acessar características dos elementos constitutivos do PCK individualmente (conhecimento do currículo, das compreensões dos estudantes e das estratégias instrucionais) e obter um panorama coletivo dos professores especialistas das distintas áreas da Química, a saber: Analítica, Físico-química e Orgânica.

Investigou-se como os professores percebem a Química Verde em cada uma das modalidades da graduação, sendo que nessa análise revela-se a importância do contexto. Um resultado que emerge é a relativa maior importância atribuída à abordagem da QV nos cursos de Química Ambiental e Industrial, e menor nos cursos de Licenciatura e Bacharelado. Ainda, em termos de ênfases gerais, os resultados sugerem que os aspectos relacionados ao modelo sócio-científico assumem maior ênfase para a formação do pesquisador e professor.

Em termos da relação entre os diferentes elementos do PCK, dois padrões puderam ser identificados. No primeiro caso, no conjunto de professores da Química Orgânica, observa-se uma significativa correlação entre os componentes *estratégias de ensino*, *objetivos de ensino* e *conhecimento curricular*. Esses professores apresentam todos esses elementos coerentes com o modelo 3. Em um segundo caso, entre os conjuntos de professores da Físico-Química e Química Analítica, observa-se uma correlação entre os componentes *estratégias de ensino* e *conhecimento curricular*, sendo que o aspecto relacionado aos *objetivos de ensino* adquire uma inclinação diferenciada. Enquanto os objetivos de ensino se situam no modelo 3 (sócio-científico), as estratégias e o

conhecimento curricular se situam no modelo 1 (tradicional).

Tais padrões puderam ser relacionados às áreas de especialidade dos professores, e sua relação com os conteúdos da QV. No caso da maior proximidade, e talvez um maior conhecimento específico sobre a QV, uma maior coerência é observada. Assim, o fato da Química Verde apresentar uma maior proximidade com os conteúdos da Química Orgânica possibilita ao conjunto de professores da Química Orgânica um PCK mais desenvolvido para a QV e faz com que os objetivos propostos, as estratégias utilizadas e o conhecimento curricular sejam coerentes entre si. Além de serem identificados com um modelo básico para a implementação de aspectos relacionados ao desenvolvimento sustentável no ensino de química onde se busca abordar conteúdos de química através do uso de questões sócio-científicas no contexto de debates sociais controversos (modelo 3).

Assim, nossas análises revelam uma significativa dependência entre o conhecimento do conteúdo (CK) e o PCK, em termos da coerência entre a concepção dos propósitos para o ensino de QV (mais ou menos tradicional) com as estratégias utilizadas, a compreensão das dificuldades dos estudantes e o conhecimento do currículo. Essa dependência do CK com o maior desenvolvimento do PCK já é documentada na literatura e nossos dados vêm subsidiar essa relação. Um professor que não se sente confortável com um conteúdo específico procura abordagem mais tradicional, dando pouco espaço para o desenvolvimento de conteúdos procedimentais e atitudinais, focando em conteúdos conceituais. Isso é particularmente preocupante no conteúdo da Química Verde onde o que se pretende é o desenvolvimento de habilidades de argumentação, análise crítica, olhar interdisciplinar e de resolução de problemas. Tais habilidades necessitam de atividades e estratégias de ensino condizentes além de uma estrutura curricular coerente com esses objetivos.

## Agradecimentos

Agradecemos aos professores do IQ-USP que participaram desta pesquisa, bem como os apoios financeiros da Fapesp, CNPq e Capes.

## Referências

- Abell, S. K. Research on Science Teacher Knowledge. In: Abell, S.K., e Lederman, N. (eds.), *Handbook on Science Education* (pp. 1105-1140). New York, USA: Routledge, 2006.
- Abell, S. K., Twenty Years Later: Does Pedagogical Content Knowledge remain a useful idea?, *International Journal of Science Education*, **30**(10), 1405-1416, 2008.
- Anastas, P. T. e Kirchhoff, M. M., Origins, Current Status, and Future Challenges of Green Chemistry, *Accounts of Chemical Research*, **35**(9), 686-694, 2002.
- Andraos, J. e Dicks, A. P., Green Chemistry Teaching in Higher Education: A Review of Effective Practices, *Chemistry Education Research and Practice*, **13**(2), 69-79, 2012.
- Braun, B., Charney R., Clarens A., Farrugia J., Kitchens C., Lisowski C., Naistat D. e O'Neil, A., Completing our educa-

- tion, *Journal of Chemical Education*, **83**(8), 1126-1129, 2006.
- Burmeister M. e Eilks I., An example of learning about plastics and their evaluation as a contribution to Education for Sustainable Development in secondary school chemistry teaching, *Chemistry Education Research and Practice*, **13**(2), 93-102, 2012.
- Burmeister, M., Rauch, F. e Eilks, I., Education for Sustainable Development (ESD) and chemistry education, *Chemistry Education Research and Practice*, **13**(2), 59-68, 2012.
- Cann, M. C. e Connelly, M. E., Real-world cases in green chemistry. Washington, DC: American Chemical Society, 2000.
- Corney, G. and Reid A., Student teachers' learning about subject matter and pedagogy in education for sustainable development, *Environmental Education Research*, **13**(1), 33-54, 2007.
- Drechsler, M. e Van Driel, J., Experienced Teachers' Pedagogical Content Knowledge of Teaching Acid-base Chemistry, *Research in Science Education*, **38**(5), 611-631, 2008.
- Eilks, I. e Rauch F., Sustainable development and green chemistry in chemistry education, *Chemistry Education Research and Practice*, **13**(2), 57-58, 2012.
- Espinosa-Bueno, J. S., Labastida-Pina, D. V., Padilla-Martinez, K., Garritz, A., Pedagogical Content Knowledge of Inquiry: An Instrument to Assess It and Its Application to High School In-Service Science Teachers, *US-China Education Review*, **8**(5), 599-614, 2011.
- Faikhamta, C., The Development of In-Service Science Teachers' Understandings of and Orientations to Teaching the Nature of Science within a PCK-Based NOS Course, *Research in Science Education*, online first, 2012.
- Grossman, P. L., *The making of a teacher: Teacher knowledge and teacher education*. New York, USA: Teachers College Press, 1990.
- Guess-Newsome, J., Pedagogical Content Knowledge: an introduction and orientation. In: Gess-Newsome, J. e Lederman, N. (eds), *Examining Pedagogical Content Knowledge* (pp. 3-17). Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1999.
- Henze, I., Van Driel, J. e Verloop, N., Science Teachers' Knowledge about Teaching Models and Modelling in the Context of a New Syllabus on Public Understanding of Science, *Research in Science Education*, **37**(2), 99-122, 2007.
- Justi, R. S. e Gilbert, J. K., Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers, *International Journal of Science Education*, **24**(4), 369-387, 2002.
- Karpudewan M., Ismail Z. e Mohamed M., The integration of green chemistry experiments with sustainable development concepts in pre-service teachers' curriculum: experiences from Malaysia, *International Journal of Sustainability in Higher Education*, **10**(2), 118-35, 2009.
- Karpudewan, M., Ismail, Z. e Roth, W.-M., Ensuring sustainability of tomorrow through green chemistry integrated with sustainable development concepts (SDCs), *Chemistry Education Research and Practice*, **13**(2), 120-127, 2012.
- Loughran, J., Mulhall, P. e Berry, A., In search of pedagogical knowledge in science: Developing ways of articulating and documenting professional practice, *Journal of Research in Science Teaching*, **41**(4), 370-391, 2004.
- Loughran, J., Mulhall, P. e Berry, A., Exploring Pedagogical Content Knowledge in Science Teacher Education, *International Journal of Science Education*, **30**(10), 1405-1416, 2008.
- Mandler, D., Mamlok-Naaman, R., Blonder, R., Yayon, M. e Hofstein, A., High-school chemistry teaching through environmentally oriented curricula, *Chemistry Education Research and Practice*, **13**(2), 80-92, 2012.
- Marques, C. A., Estilos de pensamento de professores italianos sobre a Química Verde na educação química escolar, *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, **11**(2), 316-340, 2012.
- Padilla, K. Ponce-de-León, A. M., Rembado F. M. e Garritz, A., Undergraduate Professors' Pedagogical Content Knowledge: The case of 'amount of substance', *International Journal of Science Education*, **30**(10), 1389-1404, 2008.
- Padilla, K. e Van Driel, J., The relationships between PCK components: the case of quantum chemistry professors, *Chemistry Education Research and Practice*, **12**(3), 367-378, 2011.
- Park, S. e Chen Y., Mapping out the Integration of the Components of Pedagogical Content Knowledge (PCK): Examples From High School Biology Classrooms, *Journal of Research in Science Teaching*, **49**(7), 922-941, 2012.
- Park, S. e Oliver, J. S., National Board Certification (NBC) as a Catalyst for Teachers' Learning about Teaching: The Effects of the NBC Process on Candidate Teachers' PCK Development, *Journal of Research in Science Teaching*, **45**(7), 812-834, 2008a.
- Park, S. e Oliver, J. S., Revisiting the Conceptualisation of Pedagogical Content Knowledge (PCK): PCK as a Conceptual Tool to Understand Teachers as Professionals, *Research in Science Education*, **38**(3), 261-284, 2008b.
- Pilot, A. e Bulte, A. M. W., Special issue: Context based chemistry education, *International Journal of Science Education*, **28**(9), 953-1112, 2006.
- Rollnick, M., Bennett, J., Rhemtula, M., Dharsey, N. e Ndlovu, T., The Place of Subject Matter Knowledge in Pedagogical Content Knowledge: A case study of South African teachers teaching the amount of substance and chemical equilibrium, *International Journal of Science Education*, **30**(10), 1365-1387, 2008.
- Shulman, L. S., Those who understand: Knowledge growth in teaching, *Educational Researcher*, **15**(2), 4-14, 1986.
- Shulman, L. S., Knowledge and teaching: Foundations of the new reform, *Harvard Educational Review*, **57**(1), 1-22, 1987.
- Wardencki, W., Curylo, J. e Namiesnik, J., Green chemistry-current and future issues, *Polish Journal of Environmental Studies*, **14**(4), 389-395, 2005.