

Uso do Diagrama de Stokes como instrumento de apoio à gestão da Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação: um estudo exploratório

Autoria: Willy Hoppe de Sousa, Mery P. Zamudio Igami, Diógenes de Souza Bido

Resumo

O processo de pesquisa, desenvolvimento e inovação é em sua essência um processo de gestão do conhecimento. Para auxiliar a gestão desse processo, Stokes propôs um modelo para classificar as pesquisas tomando por base duas dimensões: busca do entendimento e do uso. Embora esse modelo seja de fácil compreensão não se identificou na literatura casos de organizações ou programas de governo que tenham desenvolvido uma metodologia para operacionalizar essa proposta. Dessa forma, um estudo exploratório foi desenvolvido e aplicado nas teses de doutorado dos Programas de Pós-Graduação em Laser e Biotecnologia do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) com os seguintes objetivos: (1) desenvolver análises comparativas entre pesquisas desenvolvidas em duas áreas do conhecimento; (2) identificar mudanças no perfil das pesquisas a partir de uma decisão de natureza estratégica tomada na gestão de programas de pesquisas e (3) analisar a dinâmica do perfil das teses orientadas por um mesmo doutor ao longo de um período de tempo. A partir da construção dos modelos conceitual e operacional da pesquisa, um instrumento de coleta de dados com questões fechadas foi elaborado e aplicado em 28 pesquisadores (orientados e orientadores). Em seguida, utilizando-se da modelagem em equações estruturais foram estimados os escores fatoriais para a aplicabilidade e a fundamentalidade, os quais permitiram representar todas as teses no Diagrama de Stokes. Os resultados encontrados sugerem a viabilidade de uso do Diagrama de Stokes para os objetivos propostos; no entanto, estudos complementares precisam ser desenvolvidos tanto para aprimorar a metodologia como para testar a aplicabilidade do Diagrama em escopos distintos e mais amplos.

1. Introdução

O esforço pelo domínio do conhecimento acompanha a trajetória da humanidade. Nos últimos 600 anos é a existência de uma sociedade focalizada no trabalho e no conhecimento que explica porque alguns países ficaram muito mais ricos do que se poderia esperar a partir de suas dimensões ou de seu poderio militar (LANDES, 1998 apud PLONSKI, 2002, p.84).

Diferentes tipos de conhecimentos podem ser envolvidos nesse processo evolutivo - popular, científico, filosófico e religioso (TRUJILLO FERRARI, 1974 apud MARCONI, LAKATOS, 2007, p.18), mas para Sáenz e Capote (2002, p.10), é o científico, e mais especificamente, sobre como realizar a atividade econômica e sobre as formas em que se manifestam as relações sociais é que fazem com que um sistema social funcione apropriadamente.

Embora a aceleração da evolução do conhecimento científico possa ser datada ao século XVII pela Revolução Científica e pela Revolução Industrial iniciada nos séculos XIX e XX, é no final da Segunda Guerra Mundial que surgiu entre os países que constituem as principais potências científicas a definição de políticas que tiveram impacto na orientação sobre como a ciência deveria ser conduzida pelos próximos anos ou décadas.

Um marco para a definição dessas políticas refere-se ao Relatório Bush (1945) intitulado *Science, the Endless Frontier*. Esse relatório, além de estabelecer uma visão de como os Estados Unidos poderiam manter seus investimentos em pesquisa científica quando a guerra estivesse acabada, apresentou uma descrição da ciência básica e de sua relação com a inovação tecnológica e, meio século mais tarde, tornou-se o alicerce da política científica nacional para as décadas posteriores à guerra (STOKES, 2005, p.17).

A visão de Bush pode ser resumida em duas premissas: (1) a pesquisa básica é realizada sem se pensar em fins práticos e (2) a pesquisa básica é precursora do progresso tecnológico (STOKES, 2005, p.18). Com a primeira fundamenta-se uma versão estática da

relação entre a pesquisa básica e a aplicada como sendo partes de um espaço unidimensional e, com a segunda, uma visão dinâmica, com a pesquisa básica levando à pesquisa aplicada e ao desenvolvimento e, em seguida à produção ou a operações, segundo seja de produto ou de processo e que se tornou conhecido como modelo linear.

No entanto, meio século após a Segunda Guerra Mundial, a separação conceitual entre ciência básica e aplicada passou a ser questionada:

Na verdade, as dúvidas a esse respeito têm surgido em todos os principais países industrializados. Ninguém mais acredita que um pesado investimento na ciência básica, pura, guiada apenas pela curiosidade, assegurará por si só a tecnologia exigida para competir na economia mundial e satisfazer toda gama de necessidades da sociedade. (STOKES, 2005, p.97).

O desconforto de Stokes com o “paradigma” do modelo linear ainda muito presente na comunidade científica e no meio da população em geral fica claro quando ele enuncia o problema nos seguintes termos:

A crença de que as metas do entendimento e do uso estão inerentemente em conflito e de que as categorias da pesquisa básica e da pesquisa aplicada são necessariamente separadas encontra-se ela própria sob tensão com a experiência real da ciência. (STOKES, 2005, p.30).

Para Stokes embora possa existir uma grande quantidade de pesquisas que podem ser classificadas com uma ou outra categoria, estudos de grande importância têm mostrado que as sucessivas escolhas das pesquisas são influenciadas ao mesmo tempo pelo entendimento e pelo uso, como pode ser observado nos estudos de Pasteur na área de microbiologia, de Langmuir, na área de físico-química ou Noyes e Lewis na área da engenharia química, entre outros. No caso de Pasteur, é bastante ilustrativo o problema da obtenção de álcool a partir do caldo da beterraba. Pasteur, inicialmente empenhado na busca de entendimento acerca do ácido racêmico, descobriu os microorganismos como sendo os responsáveis pela fermentação alcoólica do suco de beterraba. Ou seja, na medida em que suas pesquisas se tornavam progressivamente mais fundamentais, os problemas escolhidos por ele e as linhas de investigação tornavam-se progressivamente mais aplicados.

Embora esforços na Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) tenham sido desenvolvidos para aprimorar as definições acerca das categorias de pesquisa, para Stokes persistia o problema de resumir o espectro da pesquisa básica-aplicada numa única dimensão. Como representar os trabalhos de Pasteur – voltados tanto para o entendimento como para o uso - nesse espectro unidimensional? A conclusão de Stokes, é que esses trabalhos por precisarem ser representados simultaneamente nos dois extremos do espectro básico-aplicado geram uma anomalia de representação no espaço euclidiano unidimensional (STOKES, 2005, p.116).

Para resolver esse problema Stokes sugeriu a construção de um plano bidimensional aonde um eixo representa o grau com que certo corpo de pesquisa procura estender as fronteiras do entendimento fundamental e o eixo horizontal, o grau com que a mesma pesquisa é guiada por considerações de uso. Embora possam existir muitos graus de comprometimento com esses dois objetivos, para efeito de simplificação, Stokes propõe uma estrutura composta de duas dicotomias na forma de um diagrama composto de quatro quadrantes, conforme apresentado na Fig. 1.

Para facilitar o entendimento de sua proposta, Stokes propõe uma caracterização para cada um dos quadrantes do diagrama. O quadrante superior à esquerda inclui a pesquisa básica e o pesquisador representativo desse quadrante é Niels Bohr pelo seu esforço de desenvolvimento de um modelo atômico de forma independentemente do que essa proposta representaria mais tarde para o mundo.

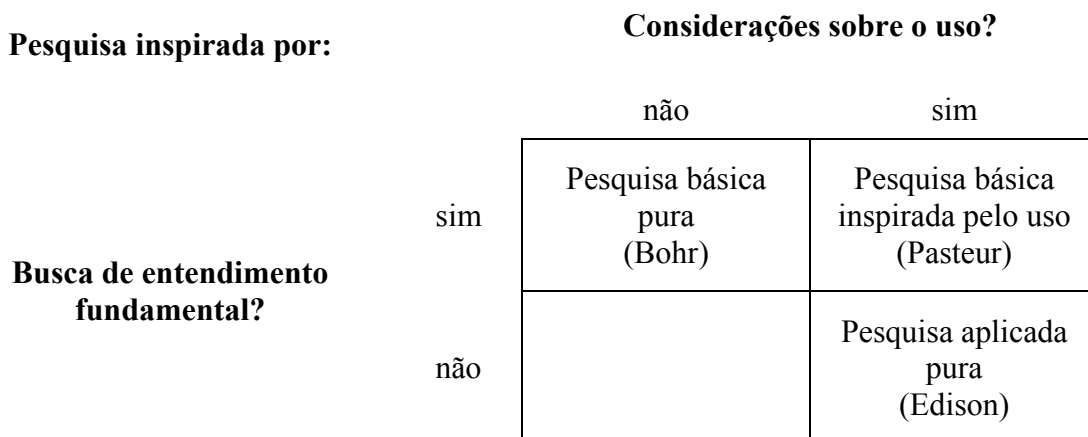


Figura 1: Modelo de quadrantes da pesquisa científica

Fonte: Stokes, 2005.

O quadrante inferior à direita representa pesquisas conduzidas apenas por seus objetivos aplicados, sem preocupação por entendimento dos fenômenos mais gerais subjacentes à pesquisa. Stokes nomeou esse quadrante de Edison pela forma como Thomas Edison perseguiu a busca de um sistema de iluminação elétrica comercialmente rentável e impediu a busca pelos seus colaboradores dos entendimentos mais profundos envolvidos.

O quadrante à direita e acima representa pesquisas que simultaneamente buscam estender as fronteiras do conhecimento, mas também são inspiradas pelo uso e que poderiam ser representadas por Pasteur.

O último quadrante, localizado abaixo e à esquerda representa estudos que não levam em conta a busca de entendimentos fundamentais e nem sejam orientadas pelo uso. Seria o caso de estudos mais específicos, voltados mais para fatos particulares ou então estudos precursores de pesquisas para o quadrante Bohr, sugere Stokes.

A compreensão da proposta de Stokes é bastante intuitiva e sua utilização pode ser constatada em diferentes contextos: como uma proposta para orientar o desenvolvimento de uma agenda de pesquisa (SIMMONS et al., 2005; PRICE, BEHRENS, 2003); como parte de um modelamento teórico sobre produção do conhecimento (TSAO et al., 2008); como parte de análises por parte de agências de fomento para formulação de políticas públicas de ciência, tecnologia e inovação (BRITO CRUZ, 2008), discussão em um editorial de uma revista acadêmica refletindo sobre a pesquisa - básica e aplicada - e sua utilidade (BALARAM, 2008) e até mesmo como parte de apresentação em processos de candidatura para ocupação de cargo de direção em uma instituição de pesquisa (CAMARA, 2005).

Curiosamente, porém, nos bancos de dados pesquisados em meados de 2008 (Proquest, Scopus, Web of Science e, especificamente, Simpósios de Gestão da Inovação Tecnológica de 1998 a 2008 e da Associação Latino-Americana de Tecnologia de 2005 e 2007) sob as palavras-chave “Quadrante” e “Pasteur”, só “Pasteur” e só “Stokes” não se encontrou nenhum artigo ou trabalho que desenvolvesse alguma aplicação desse modelo como uma ferramenta operacional de análise de projetos ou de programas de pesquisas.

Essa constatação remete às seguintes questões que orientaram a presente pesquisa: Quais análises poderiam ser desenvolvidas aplicando-se o Diagrama de Stokes: Seria possível desenvolver análises comparativas entre diferentes programas de pesquisa? Seria possível identificar alguma mudança no perfil das pesquisas a partir de decisões de natureza estratégica tomadas na gestão de programas de pesquisas? Seria possível analisar a dinâmica do perfil das teses orientadas por um mesmo doutor ao longo de um período de tempo? O objetivo deste trabalho é operacionalizar o diagrama de Stokes e apresentar alguns exemplos dessas aplicações.

2. Desenvolvimento do modelo conceitual da pesquisa

Para iniciar a busca às respostas para essas questões um modelo conceitual da pesquisa foi desenvolvido (MILES, HUBERMAN, 1994, p.18) para representar como o Diagrama de Stokes seria operacionalizado.

Para iniciar-se o desenvolvimento desse modelo considerou-se que: a) a pesquisa (científica) representa uma busca pelo conhecimento por meio de uma investigação de soluções para problemas científicos e sociais por meio de análises objetivas e sistemáticas (RAJASEKAR, PHILOMINATHAN, CHINNATHAMBI, 2006, p.1); b) a pesquisa (científica) pode ser entendida como uma forma de processo do trabalho do conhecimento, ou seja, uma estrutura para a ação – um processo com um conjunto de atividades executadas ao longo do tempo com entradas e saídas definidas (DAVENPORT, JARVENPAA, BEERS, 1996, p. 54) e, envolve, c) processos cognitivos que demandam esforços substanciais de criatividade ou atividades mentais (AMAVARADI; LEE, 2005, p.67).

Desta forma, se a pesquisa científica pode ser entendida como um processo, então tanto o conteúdo do que está sendo processado durante uma pesquisa como a forma como esse conteúdo está sendo processado também podem ser representados por meio de variáveis representativas da entrada, do processamento e da saída do processo de pesquisa para cada uma das duas dimensões do diagrama. Portanto, para a presente pesquisa, a operacionalização de cada um dos eixos do diagrama de Stokes pôde ser feita desdobrando-os nessas três variáveis: entrada, processamento e saída.

Desdobrando-se então o eixo “considerações sobre o uso”, como variável de entrada definiu-se a variável *natureza do problema*; para representar a relação entre o conteúdo e o processo da pesquisa definiu-se a variável *natureza da pesquisa* e para representar o resultado da pesquisa definiu-se a variável *perspectiva de uso imediato*; desdobrando-se o eixo “busca pelo entendimento fundamental” como variável de entrada definiu-se o *perfil de conhecimentos* necessários para se conduzir tal processo; para representar o processo em si, definiu-se uma variável denominada *processo de geração de novos conhecimentos* e, finalmente, como variável de saída definiu-se o perfil de *avanço do conhecimento* gerado pelo processo.

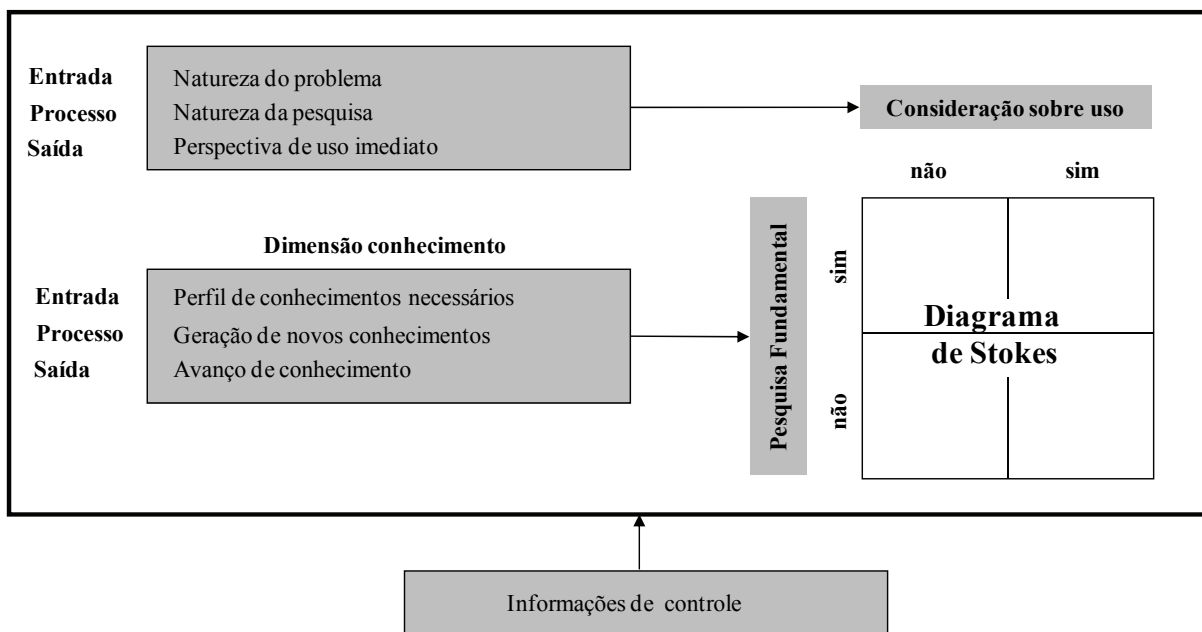


Figura 2: modelo conceitual da pesquisa

Com estas definições e a inclusão de um bloco de variáveis de controle acerca do objeto a ser investigado cuja definição se dá na parte operacional da pesquisa, o modelo conceitual da pesquisa está concluído, conforme apresentado na Fig. 2. Detalhes sobre a operacionalização dessas variáveis são apresentados na próxima sessão que trata da metodologia da pesquisa.

3. Metodologia da pesquisa

Para o desenvolvimento da parte prática da pesquisa as seguintes etapas de trabalho foram desenvolvidas: a) Definição do objeto de análise e das fontes de informação; b) Desenvolvimento do instrumento de coleta de dados; c) Definição de método de análise; d) Definição da organização em que seria desenvolvido o estudo e e) Modelo operacional da pesquisa. Cada uma dessas etapas é explicada a seguir.

3.1. Definição do objeto de análise e das fontes de informação

O objeto de análise foram as teses de doutorado por representarem processos de geração de conhecimento que seguem o modo tradicional de geração de conhecimento que, entre outros aspectos, é caracterizado por problemas e soluções governadas pela comunidade acadêmica, homogeneidade de sua produção, controle de qualidade por revisão pelos pares e envolve ênfase na criatividade individual (GIBBONS, LIMOGES, NOWOTNY, SCHWARTZMANN, TROW, 1994 citado por DOGSON, 1999, p.133).

Como fonte de informação definiu-se os autores das teses e na impossibilidade de contato com mesmos, os seus orientadores.

3.2. Desenvolvimento do instrumento de coleta de dados

O instrumento de coleta de dados foi desenvolvido na forma de um questionário com questões fechadas e foi organizado em três blocos: o primeiro bloco contém seis questões fechadas, sendo três voltadas para mensurar a dimensão “Considerações sobre o uso” do modelo conceitual da pesquisa e mais três para mensurar a dimensão “Busca de entendimento fundamental”. Dessa forma, para cada dimensão, três questões fechadas foram elaboradas de forma a representar as variáveis “entrada”, “processo” e “saída”.

Para a construção das categorias que compõem a escala de avaliação de cada uma das variáveis foram utilizadas adaptações de definições encontradas no Manual Frascati (OECD, 2002) e de explicações desenvolvidas por Stokes (2005), Root-Bernstein (1989), Roberts (1988), Sim e Duffy (2004) e Arthur (2007) bem como considerações dos próprios autores dessa pesquisa. A seguir encontra-se, para cada uma das variáveis, nas duas dimensões, uma descrição sucinta das categorias utilizadas no instrumento de coleta de dados.

Na dimensão “Considerações sobre o uso” a variável *natureza do problema* poderia ser respondida como (1).“totalmente teórico”; (2).“mais teórico do que prático”; (3).“equilíbrio entre teórico e prático”; (4).“mais prático do que teórico” e (5).“totalmente prático”.

No caso da variável *natureza da pesquisa* as respostas disponíveis foram: (1).“pesquisa básica pura”; (2).“pesquisa básica orientada à construção de conhecimento num futuro indefinido”; (3) “pesquisa básica orientada à construção de conhecimento passível de uso num futuro indefinido”; “pesquisa básica orientada à construção de conhecimento passível de uso num futuro próximo”; (4).“pesquisa aplicada” e (5) “desenvolvimento experimental”.

E, para a variável *perspectiva de uso imediato* as opções disponibilizadas foram: (1).“fundamentação teórica para outros estudos estritamente teóricos”; (2).“fundamentação teórica para outros estudos teóricos e experimentais”; (3).“incorporação em tecnologias em

nível laboratorial”; (4).“incorporação em tecnologias em escala piloto” e (5).“incorporação em tecnologias em uso comercial”.

A premissa subjacente na categorização de cada uma dessas variáveis é a seguinte: quanto menor o número da resposta escolhida menor o grau de aplicabilidade do objeto sob investigação (teses de doutorado, no caso); quanto maior o número, maior o grau de aplicabilidade.

Na dimensão “Busca de entendimento fundamental” a variável *requisitos de conhecimentos* poderia ser respondida como (1).“profundo conhecimento teórico-fundamental em uma área específica”; (2).“bom conhecimento teórico e prático em algumas áreas específicas do conhecimento”; (3).“limitado conhecimento teórico e prático em algumas áreas específicas do conhecimento”; (4).“limitado conhecimento teórico e bom conhecimento prático e em poucas áreas” e (5).“nenhum conhecimento teórico e profundo conhecimento prático em muitas áreas do conhecimento”.

A variável *processo de geração de novo conhecimento* foi representada pelas seguintes opções: (1). “aprofundamento e compreensão de conhecimentos existentes na mesma base de conhecimento do problema inicial da pesquisa”; (2).“aprofundamento e compreensão de conhecimentos existentes na mesma base de conhecimento mais ampla do que a do problema inicial de pesquisa”; (3).“integração e classificação-sistematização de conhecimentos existentes; (4).“experimentação e agregação de conhecimentos existentes na mesma base de conhecimento do problema inicial da pesquisa e (5).“experimentação e agregação de novos conhecimentos envolvendo uma base de conhecimento mais ampla do que a do problema inicial de pesquisa”.

E, finalmente, para a terceira variável dessa dimensão – *avanço do conhecimento* - as seguintes opções foram disponibilizadas: (1).“avanço científico extraordinário – potencial de publicação em revista internacional equivalente a Nature, Science”; (2).“avanço científico significativo - potencial de publicação em revistas de âmbito internacional equivalente à Qualis A¹; (3). “avanço científico-tecnológico moderado - potencial de publicação em revistas nacionais equivalente à Qualis A e/ou potencial para obtenção de patente nacional”; (4). “avanço científico-tecnológico significativo- potencial de publicação em revistas de âmbito internacional equivalente à Qualis A e/ou potencial para obtenção de patente internacional” e (5). “avanço tecnológico extraordinário - potencial de ruptura da qualidade da vida”.

A premissa subjacente na categorização de cada uma dessas variáveis é a seguinte: quanto menor o número da resposta escolhida maior o grau de esforço em busca de entendimentos fundamentais do objeto sob investigação e quanto maior o número, maior o caráter prático e tecnológico da pesquisaⁱⁱ.

Durante a fase de desenvolvimento do questionário, aplicou-se um teste piloto com pesquisadores seniors do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) com o intuito de verificar se os entrevistados estavam compreendendo tanto as questões formuladas como as respostas disponibilizadas.

Observou-se que apesar do questionário ter passado por várias revisões no sentido de clarear o sentido das perguntas, constatou-se que os entrevistados ainda tinham dificuldades no entendimento de alguns dos termos utilizados no questionário. Por isso, decidiu-se que as categorias de algumas das questões seriam acompanhadas de notas com exemplos de situações representativas e ilustrando melhor o seu significado.

Uma sexta opção com o texto “não sei avaliar” foi também disponibilizada para cada uma das seis variáveis de forma a identificar possíveis situações de dificuldade de entendimento por parte do entrevistado. Nos casos em que essas opções foram assinaladas, os entrevistados foram posteriormente contatados e esclarecidos quanto às suas dúvidas de forma

que pudessem então responder a questão em uma das cinco categorias classificadoras das variáveis investigadas.

Para apoiar a análise das respostas em atendimento às questões de pesquisa, as seguintes variáveis de controle acerca de cada uma das teses foram levantadas (seja no próprio questionário ou por meio de levantamentos complementares): (1) caracterização dos objetivos da pesquisa (2) formação do autor da tese; (3) ano de defesa da tese; (4) formação do orientador e outras específicas e que não foram incorporadas na análise dos resultados.

A coleta de dados foi efetuada, num primeiro momento, buscando os autores das teses tanto por meio de entrevista direta como por meio do envio de mensagem eletrônica. Nos casos em que não foi possível contatar o autor, a coleta dos dados foi efetuada por meio de entrevista direta com o orientador. Em todos os casos, os entrevistados receberam juntamente com o questionário uma carta explicativa acerca dos objetivos da pesquisa.

3.3. Definição do método de análise

Para a análise dos dados optou-se por utilizar uma técnica multivariada de dados denominada modelagem de equações estruturais (MEE). Isso se deve ao fato dessa técnica possuir duas características distintas de interesse para essa investigação: (1) estimação de múltiplas e inter-relacionadas relações de dependência e (2) habilidade para representar conceitos não observáveis nessas relações e explicar o erro de mensuração no processo de estimação (HAIR Jr. et al., 2005, p.470).

O método de estimação do MEE foi o baseado em componentes (PLS-PM: *Partial Least Squares Path Modeling* ou simplesmente PLS). Dentre as principais razões para uso deste método na presente pesquisa citam-se: (1) maior flexibilidade em termos de requisitos da teoria sob investigação (ou seja, é apropriada para estudos exploratórios); (2) não há necessidade de suposição quanto à distribuição dos dados; (3) pode haver tanto indicadores formativos como refletivos no modelo de mensuração e (4) requisito em termos de tamanho de amostra pequeno quando comparado com outros métodos de estimação (ZWICKER, SOUZA, BIDO, 2008, p.4).

3.4. Escolha da organização

A instituição escolhida para o desenvolvimento da pesquisa é o Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN) localizada no Estado de São Paulo, Brasil. A escolha dessa Instituição deve-se ao fato dessa organização desenvolver um programa bem sucedido de Pós-Graduação – nota seis na avaliação CAPES nos últimos anos no mestrado e doutorado - em associação com a Universidade de São Paulo, tendo concluído mais de 1000 defesas de mestrado e doutorado desde a sua criação em 1976. Também pesou na escolha a facilidade de acesso por parte dos autores do presente artigo ao corpo técnico-alvo desse estudo.

O IPEN é uma instituição de pesquisas científicas e tecnológicas que foi fundada em 1956 e que atua na área nuclear e áreas correlatas. Seu orçamento é majoritariamente oriundo do Governo Federal brasileiro. Possui um quadro fixo de 1029 servidores, sendo destes 219 possuem o título de doutor e 118 o título de mestre (IPEN, 2007).

De interesse para esse estudo, cabe destacar que entre meados dos anos 80 e 90, o Programa Nuclear Brasileiro perdeu importância estratégica e o IPEN precisou redirecionar sua capacitação – antes voltada para atender prioritariamente o Governo Federal para demandas da sociedade em geral e, em especial, por orientação da sua Alta Direção ao atendimento a editais oriundos de agências de fomento para o financiamento de suas atividades de pesquisa. Esse esforço foi relativamente bem sucedido, mas teve como consequência uma diversificação muito grande de suas atividades. Para tentar diminuir esse

problema, um esforço de planejamento estratégico foi iniciado em 1996 com a definição da missão do IPEN e que, em 2000, culminou com a formalização do primeiro Plano Diretor da Instituição.

Para o desenvolvimento da pesquisa foram convidados a participar doutores e orientadores de dois Programas de Pesquisa: Lasers e Biotecnologia. Foram escolhidos esses dois Programas por apresentarem conteúdos científico-tecnológicos muito distintos entre si e, conseqüentemente, comparar as implicações no enquadramento das teses desses dois programas no Diagrama de Stokes. Uma variável denominada *Programa Institucional* foi desenvolvida para classificar as teses em um desses dois programas de pesquisas.

Para avaliar possíveis alterações no perfil das pesquisas de teses de doutorado em função da implantação do Plano Diretor do IPEN as teses investigadas foram separadas em dois grupos: antes e depois de 2004. Essa defasagem de 4 anos em relação ao ano de implantação do Plano Diretor deve-se ao fato de que 4 anos é o prazo regulamentar normal máximo para a elaboração de uma tese no Brasil. Com essa separação temporal procurou-se assegurar que sejam incorporadas no grupo após 2004 apenas teses iniciadas após a implantação do Plano Diretor. Duas variáveis foram utilizadas para apoiar essa análise: *Ano do Plano Diretor* e *Ano de conclusão*.

Desde a criação do Programa de Pós-Graduação do IPEN, em 1976, foram defendidas 44 teses de doutorado na área de Lasers e igual quantidade na área de Biotecnologia. Para efeito da presente pesquisas foram analisadas 28 teses, o que representa cerca de 34% de ambas as áreas do conhecimento. A seleção dessas 28 teses foi definida em função da facilidade de contato e resposta dos entrevistados.

3.5 Modelo operacional da pesquisa

Para a operacionalização da pesquisa, o modelo conceitual foi desdobrado de forma a incluir a representação das variáveis latentes e sua inter-relação e detalhar as variáveis de controle conforme é apresentado na Fig. 3.

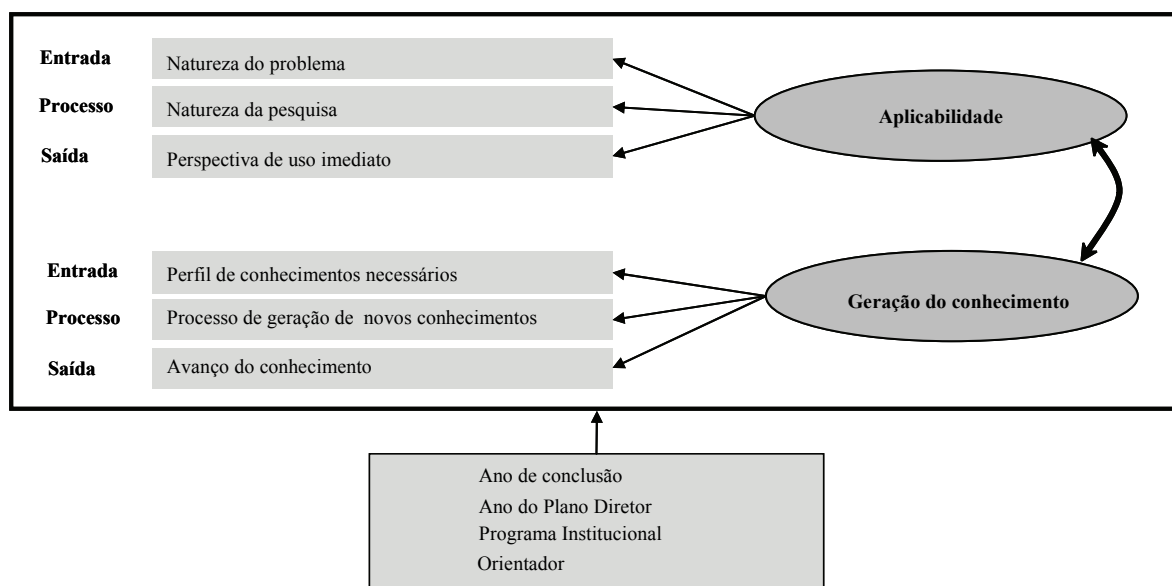


Figura 3: modelo operacional da pesquisa

Esse modelo define como o modelo conceitual de pesquisa foi investigado de forma a responder as questões de pesquisa apresentadas no final da introdução e pode ser explicado da seguinte forma:

- (1) as variáveis latentes (VL) aplicabilidade e geração do conhecimento ou fundamentalidade podem apresentar uma inter-relação entre si, intuitivamente é até esperado que haja uma correlação negativa entre elas, já que pesquisas mais básicas tendem a ter menor aplicabilidade e vice-versa;
- (2) Como já foi comentado na seção relativa ao desenvolvimento do instrumento, as três variáveis ou indicadores (entrada, processo e saída) foram elaboradas de modo a refletir o comportamento do construto ou VL que se pretende mensurar, por isso, espera-se que haja correlação entre elas e assim utilizou-se um modelo de mensuração reflexivo,
- (3) as variáveis de controle (ano de conclusão, ano do plano diretor e programa institucional e orientador) se conectam às questões de pesquisa e serão consideradas nas análises gráficas do Diagrama de Stokes.

4. Análise dos resultados

4.1 Dados sobre a pesquisa e os entrevistados

Foram efetuadas 28 entrevistas, sendo 50% vinculadas ao Programa de Lasers e 50% ao Programa de Biotecnologia. Em termos de distribuição das respostas apresentadas pelos próprios autores, 43% foram respondidas pelo próprio autor da tese e 57% pelo orientador da tese. Em termos de formação dos autores das teses, os entrevistados com formação em Ciências Exatas e da Terra somaram 46% e com formação em Ciências da Vida 54%.

4.2 Modelo representativo das teses analisadas

A primeira etapa da análise quantitativa foi realizada por meio de estatística univariadas e bivariadas, que são apresentadas de forma resumida na Tab. 1.

Tabela 1: Matriz de correlações de Pearson e estatísticas descritivas dos indicadores

	Aplicabilidade			Fundamentalidade		
	1	2	3	4	5	6
1 - Natureza do problema	1,000					
2 - Natureza da pesquisa	0,666	1,000				
3 - Perspectiva de uso imediato	0,291	0,396	1,000			
4 - Perfil de conhecimentos	-0,468	-0,265	0,036	1,000		
5 - Processo de geração	-0,383	-0,391	-0,121	-0,350	1,000	
6 - Avanço do conhecimento	0,006	-0,225	0,124	0,131	0,162	1,000
Média =	3,8	3,8	2,9	3,7	2,7	3,7
Mediana =	4	4	3	4	2	4
Desvio padrão =	0,69	0,79	0,66	0,66	1,65	0,61
Distribuição de freqüências						
Respostas = 1	0	0	0	0	9	0
Respostas = 2	1	1	6	3	8	2
Respostas = 3	7	9	19	2	0	5
Respostas = 4	17	13	2	23	4	21
Respostas = 5	3	5	1	0	7	0

Nota: Correlações iguais ou superiores a $|0,382|$ eram significantes ao nível de 5%.

Alguns resultados merecem destaque:

- a) Os três indicadores da aplicabilidade estão correlacionados positivamente, como era esperado, e a análise de componentes principais mostrou que 64% da variância poderia

- ser explicada com apenas um componente extraído e as cargas fatoriais variaram de 0,65 a 0,89, o que resultou em um alfa de Cronbach igual a 0,72;
- Os três indicadores de fundamentalidade apresentaram correlações baixas e não-significantes, com exceção da correlação entre Processo de geração de conhecimento e Perfil de conhecimentos apresentou uma correlação negativa e significativa a 10%. Na análise de componentes principais foram extraídos dois componentes com autovalor superior a 1. Tendo em vista estes resultados, foi questionado se a mensuração dessa VL como um modelo reflexivo era apropriada, o que foi reconsiderado nas próximas seções;
 - Uma explicação plausível para os resultados inesperados para a fundamentalidade pode ser a homogeneidade das teses analisadas em relação aos indicadores Perfil de conhecimento e Avanço do conhecimento, que tiveram 23 e 21 respostas na mesma categoria, respectivamente, de um total de 28 casos. Em pesquisas futuras, uma amostra maior e mais variada poderia sanar esse problema.

Para estimar o modelo apresentado na Fig. 3 foi utilizado o software SmartPLS 2.0.M3 (RINGLE, WENDE, WILL, 2005). Dado o caráter exploratório dessa pesquisa, foi realizada uma alteração no modelo de mensuração (Fig. 4) a partir dos resultados que tinham sido obtidos para essa amostra, a qual será explicada a seguir.

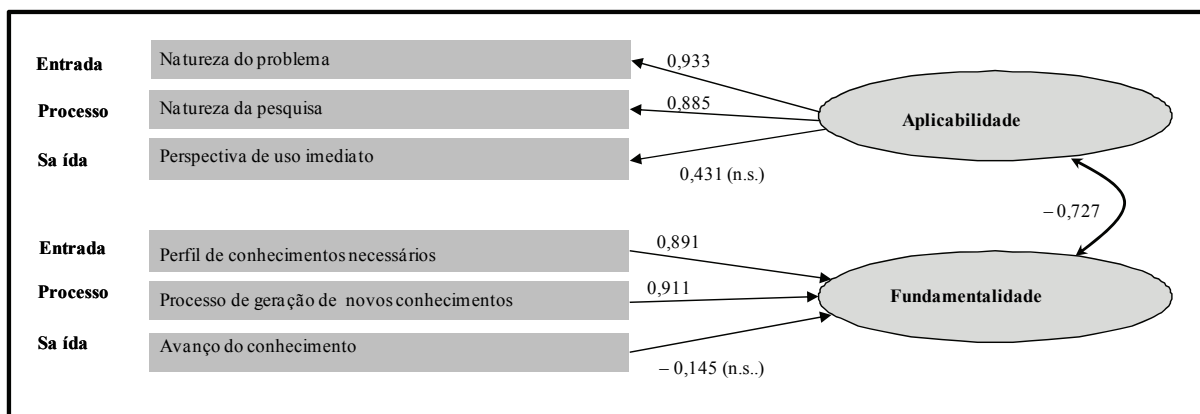


Figura 4: Modelo revisado das teses dos programas de lasers e biotecnologia

Nota: Todos os coeficientes significantes ($p < 0,001$), com exceção de onde foi indicado (n.s.).

As significâncias foram calculadas por *bootstrap* com 28 casos e 400 repetições.

No *SmartPLS* a seta dupla (correlação entre as VL) foi estimada como uma regressão simples (seta unidirecional) e os resultados foram os mesmos não importando qual das VL fosse definida como a variável dependente ou independente.

O modelo original (VL reflexivas) apresentou resultados adequados para a Aplicabilidade, ou seja, Variância extraída igual a 0,61 e confiabilidade composta igual a 0,81, que são valores superiores àqueles recomendados por Chin (1998). Entretanto para a Fundamentalidade os resultados foram inadequados: variância extraída igual a 0,27 e confiabilidade composta igual a 0,53, muito abaixo dos valores mínimos de 0,5 e 0,7, respectivamente.

Considerando os resultados da Tab. 1 e da estimação via PLS-PM foi decidido considerar os indicadores da Fundamentalidade como formativos (JARVIS, MACKENZIE, PODSAKOFF, 2003) o que é mais coerente com as baixas correlações entre seus indicadores.

Para avaliar as conseqüências dessa decisão ad hoc foram calculadas as correlações entre os escores fatoriais estimados de modo formativo e reflexivo. Tanto para a aplicabilidade como para a fundamentalidade essas correlações foram superiores a 0,94,

indicando que essa decisão teve pequeno efeito na estimação dos escores fatoriais que foram usados posteriormente no Diagrama de Stokes.

Além disso, a correlação entre a aplicabilidade e a fundamentalidade ficou em um patamar intermediário entre o modelo totalmente reflexivo e o totalmente formativo, que é equivalente a uma correlação canônica, como é apresentado a seguir:

- Aplicabilidade (reflexiva) e Fundamentalidade (reflexiva) $\rightarrow r = -0,69$ ($p < 0,001$)
- Aplicabilidade (reflexiva) e Fundamentalidade (formativa) $\rightarrow r = -0,73$ ($p < 0,001$)
- Aplicabilidade (formativa) e Fundamentalidade (formativa) $\rightarrow r = -0,79$ ($p < 0,001$)

O modelo revisado com os resultados obtidos no *SmartPLS* é apresentado na Fig. 4. Como o *SmartPLS* gera escores para as VL na mesma escala dos indicadores, no presente caso de 1 a 5, foi possível utilizar esses escores para representar todas as teses no Diagrama de Stokes segundo o modelo construído. O resultado encontra-se ilustrado na Fig. 5 e na Tab. 2.

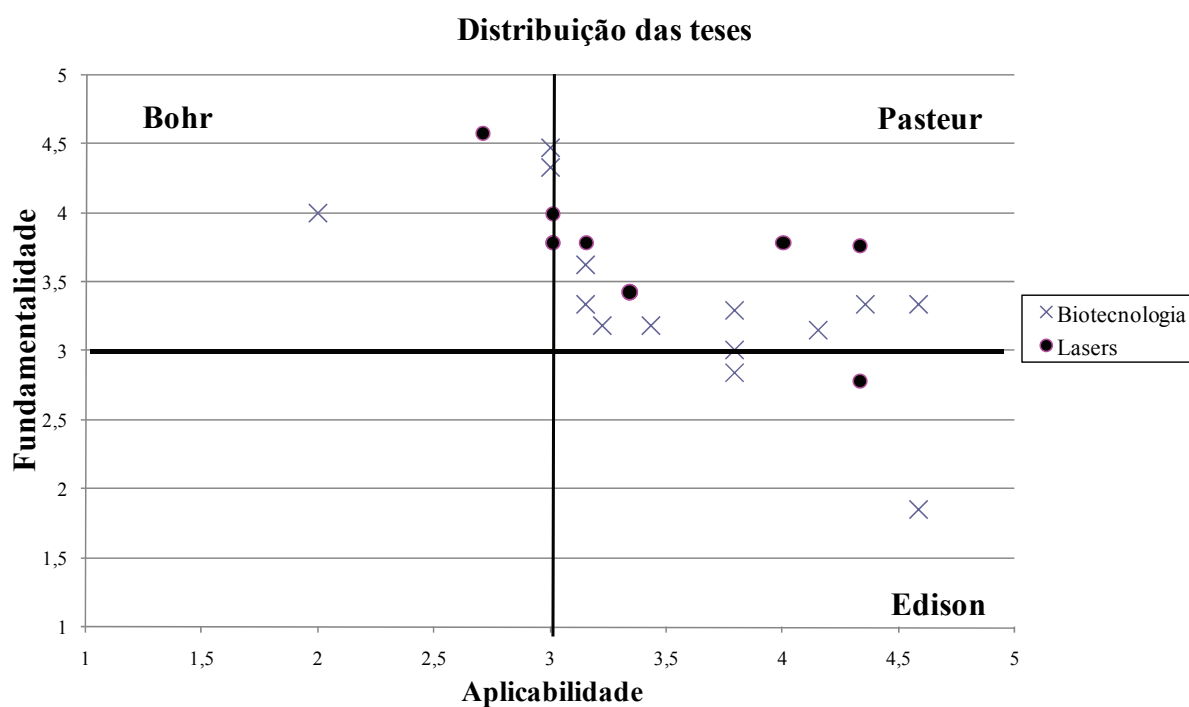


Figura 5: Distribuição gráfica das teses dos programas de Lasers e Biotecnologia nos Quadrantes de Stokes

Tabela 2: Distribuição percentual das teses dos programas de Lasers e Biotecnologia nos Quadrantes de Stokes

Quadrante	Biotecnologia		Lasers	
	n	%	n	%
Bohr	1	7,1%	2	14,3%
Edison	2	14,3%	1	7,1%
Pasteur	11	78,6%	11	78,6%
indefinido	0	0,0%	0	0,0%
total	14	100,0%	14	100,0%

Os resultados encontrados sugerem que os dois programas de Pós-Graduação guardam uma razoável semelhança em termos de distribuição das teses ao longo do Diagrama de Stokes. A análise das razões dessa semelhança está além dos propósitos desse trabalho, porém constituem uma resposta à primeira das perguntas elaboradas, ou seja, é possível desenvolver análises comparativas entre programas de pesquisa utilizando-se o Diagrama de Stokes.

A segunda análise refere-se à possibilidade de uso do Diagrama de Stokes para identificação de alguma mudança no perfil das pesquisas a partir de decisões de natureza estratégica tomadas na gestão de programas de pesquisas. Para tanto, identificou-se uma decisão estratégica, definiu-se uma data de referência em que a decisão tomada surtiria efeito e em seguida, os dados foram separados em dois grupos: antes e depois dessa data. No caso, a decisão considerada foi a implantação do Plano Diretor do IPEN, em 2000; a data de referência considerada foi 2004, assumindo-se que: (1) somente pesquisas de doutorado iniciadas e defendidas após essa data poderiam sofrer alguma influência dessa implantação e (2) teses de doutorado levem em média 4 anos para serem concluídas. Os resultados são apresentados na Fig. 6 e na Tab. 3.

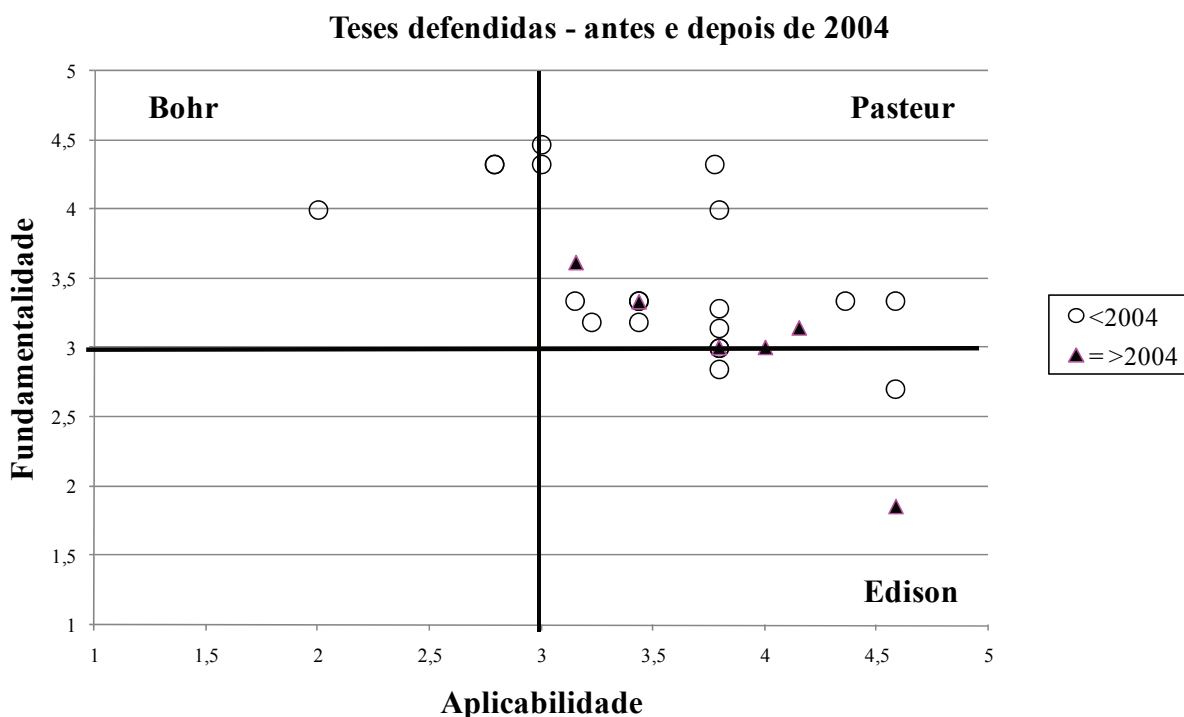


Tabela 3: Distribuição percentual das teses defendidas antes e depois de 2004

Quadrante	< 2004		=> 2004	
	n	%	n	%
Bohr	3	15,0%	0	0,0%
Edison	2	10,0%	1	12,5%
Pasteur	15	75,0%	7	87,5%
indefinido	0	0,0%	0	0,0%
total	20	100,0%	8	100,0%

A pequena quantidade de casos por célula na Tab. 3 inviabiliza a execução de testes estatísticos como o de qui-quadrado, mas limitando-se a essa amostra, os resultados

encontrados sugerem que houve alguma alteração do perfil das teses defendidas antes e depois de 2004.

Constata-se que: (1) antes de 2004 15% das teses defendidas, encaixavam-se no Quadrante de Bohr, a partir de 2004, nenhuma tese analisada se enquadrava nesse Quadrante; (2) teses defendidas a partir 2004 apresentaram um discreto aumento de 2,5% no Quadrante de Edison e um aumento de 12,5% no Quadrante de Pasteur.

Considerado no seu conjunto, conclui-se que houve uma mudança no perfil das teses analisadas em direção à aplicabilidade dos resultados e, portanto, o Diagrama de Stokes pode também ser uma ferramenta útil para esse tipo de análise. Especificamente, cabe ressaltar que a análise efetuada permite identificar a ocorrência de uma mudança no perfil das teses defendidas a partir de 2004, mas não permite afirmar que a introdução do Plano Diretor tenha sido a causa dessa mudança.

Uma terceira análise dos dados foi efetuada com o objetivo de verificar a possibilidade de analisar-se a dinâmica do perfil das teses orientadas por um mesmo doutor ao longo de um período de tempo. Os resultados encontram-se apresentados na Fig. 7 e sintetizados na Tab. 4.

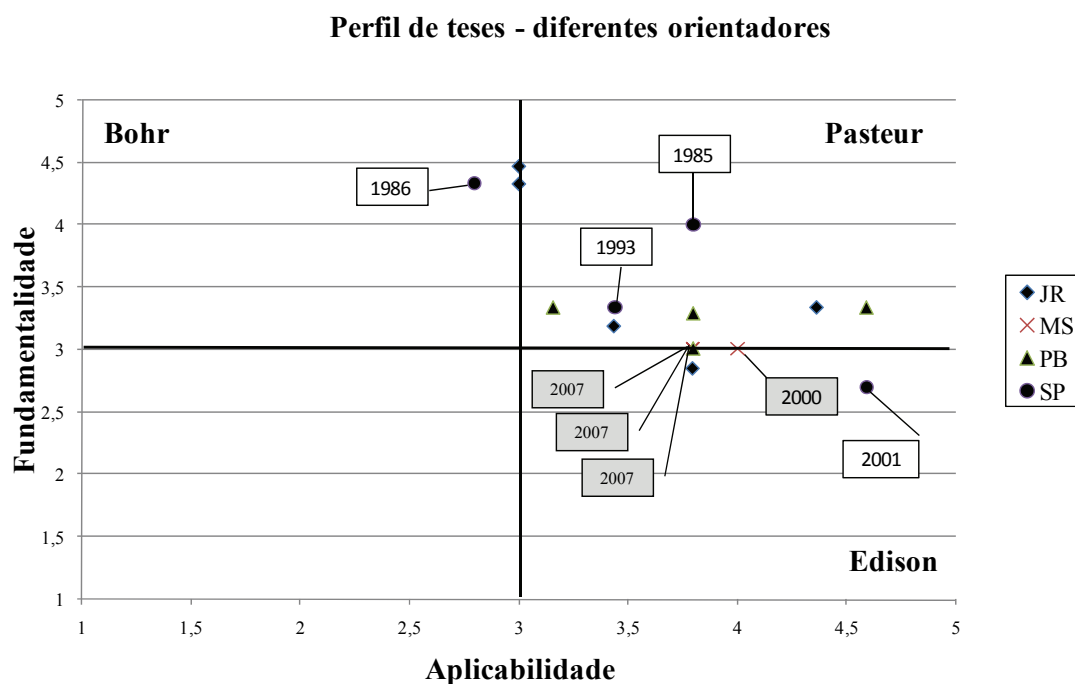


Tabela 4: Distribuição percentual de teses orientadas por quatro diferentes orientadores

Quadrante	JR		MS		PB		SP	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Bohr	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	1	25,0%
Edison	1	20,0%	0	0,0%	0	0,0%	1	25,0%
Pasteur	4	80,0%	4	100,0%	4	100,0%	2	50,0%
indefinido	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%	0	0,0%
total	5	100,0%	4	100,0%	4	100,0%	4	100,0%

Os dados apresentados na Fig. 7 e Tab. 4 representam as teses defendidas por quatro orientadores. A título de ilustração, os anos da defesa de tese foram destacados para dois orientadores.

Observando-se a Tab. 4, pode-se observar que o perfil das teses conectadas ao mesmo orientador podem ser subdivididas em dois grupos: orientadores que orientam em mais de um dos Quadrantes do Diagrama de Stokes (é o caso dos orientadores JR e SP) e orientadores que atuam apenas em um Quadrante (é o caso dos orientadores MS e PB).

Já analisando-se a Fig. 7, observa-se a seqüência temporal das teses orientadas pelo orientador SP, e constata-se que com o passar dos anos as teses foram “movimentando-se” ao longo da dimensão fundamental. No início as teses focavam o mais avanço do conhecimento científico; à medida que o tempo foi passando as teses passaram a focar mais o avanço do conhecimento científico e tecnológico. Já no caso do orientador MS, parece que o orientador concentra sua atuação numa região mais concentrada do Diagrama de Stokes ao longo do tempo.

Em resumo, confirma-se a possibilidade de uso Diagrama de Stokes como ferramenta de análise da dinâmica das teses orientadas por um mesmo pesquisador.

4.3 Limitações da pesquisa

O estudo apresentado aqui, por ser de natureza exploratória, apresenta diversas limitações que precisam ser destacadas para o aprimoramento futuro. Em primeiro lugar, conforme já mencionado anteriormente, para algumas variáveis de pesquisa alguns dos entrevistados tiveram dificuldade para compreender a pergunta.

O segundo problema refere-se à necessidade do entrevistado “voltar no tempo” em que a tese foi defendida e responder o questionário considerando a época em que foi defendida. Os efeitos dessas e outras dificuldades para se responder o questionário foram capturadas pelo teste de confiabilidade aplicado. Esse teste foi desenvolvido mediante a reapresentação do questionário para 4 do total de 28 entrevistados cinco meses depois da primeira coleta de dados. O índice de confiabilidade variou entre 50% e 67%, ou seja, um valor abaixo do desejável (algo em torno de 70%, pelo menos).

Outro problema refere-se à baixa significância de duas variáveis (*avanço do conhecimento e perspectiva de uso imediato*) – essa baixa significância pode estar associada às dificuldades de entendimento do questionário anteriormente mencionadas, mas também ao pequeno tamanho da amostra (28 teses), apesar de representar 34% do total de teses defendidas.

E, finalmente, reflexões precisam ser desenvolvidas para melhor se compreender as implicações do modelamento dos indicadores da fundamentalidade como formativos.

Em resumo, os resultados específicos aqui alcançados devem ser considerados mais como um ponto de partida para pesquisas futuras do que como resultados finais de um processo de modelamento para análises de programas de pesquisas.

Apesar das limitações citadas, o estudo demonstra o potencial de uso do Diagrama de Stokes como uma ferramenta analítica para avaliação de programas de P&D e, portanto, merece a atenção em pesquisas futuras visando o aprimoramento metodológico do processo de enquadramento das pesquisas e/ou programas nas duas dimensões do diagrama.

5. Conclusões

Avaliar adequadamente o perfil de Programas de Pesquisas e conseqüentemente para direcioná-los de forma a combinar adequadamente a geração e a aplicação do conhecimento gerado constitui ainda um desafio para formuladores e gestores de políticas públicas de C&T.

O presente trabalho constitui uma contribuição pequena, porém inédita na direção de colocar em prática uma ferramenta idealizada conceitualmente por Donald Stokes. Alguns dos potenciais de uso foram aqui apresentados; cabe, agora, a continuidade de pesquisas na

direção do aprimoramento da metodologia visando o desenvolvimento de estudos da mesma natureza em escopos distintos e mais amplos de P&D.

Referências

- AMAVARADI, C, S.; LEE, I. The dimensions of process knowledge. **Knowledge and Process Management**. v.12, n.1, p.65-76, 2005.
- ARTHUR, W. B. The structure of invention. **Research policy**, v.36, [s.n.], p.274-287, 2007.
- BALARAM, P. Science, invention and Pasteur's quadrant. **Current Science**, v.94, n.8, p.961-962, 25.04.2008. Disponível em: <<http://www.ias.ac.in/currsci/apr252008/961.pdf>>. Acesso em: 17.04.2009.
- BRITO CRUZ, C. H. Políticas para C&T&I para o Brasil. Disponível em: <<http://www.ifi.unicamp.br/~brito>>. Acesso em: 13.06.2008.
- CAMARA, G. Um Instituto, Três Missões, Dez Compromissos. 2005. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/inpe/apresentacao_comite_busca.ppt>. Acesso em: 11.04.2009.
- CHIN, W. W. The Partial Least Squares approach to structural equation modeling. In: MARCOULIDES, G. A. (Ed.) **Modern Methods for business research**. USA: Lawrence Erlbaum Associates, Inc., 1998, p.295-336.
- DAVENPORT, T.H.; JARVENPAA, S. L.; BEERS, M. Improving knowledge work. **Sloan Management Review**, v.34, n.4, p.53-65, 1996.
- DODGSON, M. What role for management in science? **Technology Analysis & strategic management**, v.11, n.2, p.133-141, 1999.
- HAIR Jr., J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. **Análise Multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2005.
- IPEN. Relatório de Gestão. São Paulo, 2007.
- JARVIS, C. B.; MACKENZIE, S. B.; PODSAKOFF, P. M. A critical review of construct indicators and measurement model misspecification in marketing and consumer research. **Journal of Consumer Research**, v.30, n.2, p.199-218, 2003.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Metodologia Científica**. São Paulo: Atlas, 2007.
- MILES, M. B.; HUBERMAN, A. M. **Qualitative data analysis: an expanded sourcebook**. 2nd. Ed. Thousands Oaks: Sage Publications, Inc., 1994.
- OECD. **Manual Frascati**. Paris: OECD publications service, 2002.
- PLONSKI, G. A. Questões tecnológicas na sociedade do (des)conhecimento. In: SANTOS, L. W.; ICHIKAWA, E. Y.; SENDIN, P. V.; CARGANO, D. F. **Ciência, Tecnologia e Sociedade: o desafio da interação**. Londrina: IAPAR, 2002, p.83-99.
- PRICE, R. H.; BEHRENS, T. Working Pasteur's quadrant: harnessing science and action for community change. **American journal of community psychology**, v.31, n.3/4, p.219-223, June, 2003.
- RAJASEKAR, S., PHILOMINATHAN, P.; CHINNATHAMBI, V. Research methodology. **Ar XIV Physics**, Jan 2006. Disponível em: <<http://arxiv.org/abs/physics/0601009v2>>. Acesso em: 13.04.2009.

RINGLE, C. M.; WENDE, S.; WILL, A. **SmartPLS 2.0 M3 (beta)**. Germany: University of Hamburg, 2005. Disponível em: <<http://www.smartpls.de>>. Acesso em: 09.04.2009.

ROOT-BERNSTEIN, R. S. Who discovers and invents. **Research Technology Management**, v.32, n.1, p.43-50, Jan/Feb. 1989. Disponível em: <<https://www.msu.edu/~rootbern/invents.pdf>>. Acesso em: 17.04.2009.

ROBERTS, E. B. What we've learned. Managing invention and innovation. **Research Technology Management**, v.31, n.1, p.11-29, Jan/Feb. 1988.

SÁENZ, T. W.; CAPOTE, E. C. **Ciência, inovação e gestão tecnológica**. Brasília: CNI/IEL/SENAI, ABIPTI, 2002.

STOKES, D. E. **O quadrante de Pasteur: a ciência básica e a inovação tecnológica**. Campinas: Editora da Unicamp, 2005.

SIM, S. K.; DUFFY, A. H. B. Knowledge transformers: a link between learning and creativity. **Artificial intelligence for engineering design, analysis and manufacturing**, v. 18, [s.n.], p.271-279, 2004.

SIMMONS, P. E.; BRUNKHORST, H.; LUNETTA, V.; PENICK, J.; PETERSON, J.; PIETRUCHA, B.; STAVAR, J. Developing a research agenda in science education. **Journal of science education and technology**, v.14, n.2, p.239-252, June 2005.

TSAO, J. Y., BOYACK, K. W., COLTRIN, M. E., TURNLEY, J. G.; GAUSTER, W. B. Galileo's stream: a framework for understanding knowledge production. **Research Policy**, v.37, [s.n.], p.330-352, 2008.

ZWICKER, R.; SOUZA, C. A.; BIDO, D. S. Uma revisão do Modelo do Grau de Informatização de Empresas: novas propostas de estimação e modelagem usando PLS (*partial least squares*). XXXII ENCONTRO DA ASSOCIAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM ADMINISTRAÇÃO, **Anais...** Rio de Janeiro: ANPAD, 2008.

Notas

ⁱ A avaliação Qualis é um processo que, entre outros aspectos, desenvolve uma aferição da qualidade dos artigos e de outros tipos de produção, a partir da análise da qualidade dos veículos de divulgação, ou seja, periódicos científicos e anais de eventos. Para maiores informações consultar <http://www.capes.gov.br/avaliacao/qualis>.

ⁱⁱ Obs.: para esses três itens, na análise dos dados, constatou-se a necessidade de se inverter a escala (1 → 5, 2 → 4, 3 → 3, 4 → 2 e 5 → 1) para que valores maiores representassem maior fundamentalidade.