

Uma nova abordagem para o estudo do planejamento e controle da produção (PCP): a ótica da teoria da complexidade

Fernando Augusto Ferreira Dutra (UFSC) ferdutra@gmail.com

Rolf Hermann Erdmann (UFSC) erdmann@cse.ufsc.br

Resumo

Pode-se afirmar que as últimas décadas foram marcadas por um acelerado desenvolvimento tecnológico e pela consolidação da chamada era do conhecimento, onde as organizações operam com base no fluxo de informações. Diante deste contexto, o principal desafio organizacional é a adaptação a um ambiente que se altera de maneira mais rápida do que as organizações, ainda presas ao paradigma mecanicista, conseguem acompanhar. A proposta do presente trabalho nasce da concepção de que, dentro deste cenário apresentado, os sistemas organizacionais tendem a não se comportar mais de forma linear. Assim sendo, sugere-se aqui uma nova abordagem, através da ótica da Teoria da Complexidade, no estudo e na análise do sistema de planejamento e controle da produção (PCP) das empresas. A Teoria da Complexidade sugere que as organizações e seus sistemas sejam vistos como sistemas complexos adaptativos (SCAs), sistemas estes que possuem como propriedade básica a adaptação, ou seja, são capazes de ajustar seu comportamento em função das alterações ocorridas em seu ambiente. Acredita-se que vislumbrar o PCP como sendo um SCA possa contribuir para que organizações dos mais diferentes setores possam obter insights significativos no gerenciamento de suas operações de produção.

Palavras-chave: Sistemas de produção; PCP; Teoria da complexidade.

1. Introdução

As últimas décadas evidenciaram que novas tecnologias estão transformando produtos, processos, mercados e indústrias inteiras, revolucionando assim o ambiente empresarial. Para Drucker (1996), a era do conhecimento, marcada por grandes organizações que operam com base no fluxo de informações, iniciou-se a partir das transformações mundiais ocorridas no final da década de 60.

Pode-se dizer que nos dias atuais o principal desafio das organizações é o de se adaptar a este ambiente em que a velocidade de mudança é muito grande. No início da década de 80, Thomas Peters e Robert Waterman Jr. já afirmavam que no ambiente empresarial existem dois tipos de empresas: as rápidas e as mortas (PETERS e WATERMAN JR., 1983).

Na era do conhecimento, as organizações que continuam presas ao paradigma mecanicista têm dificuldade de acompanhar as mudanças do mercado, pois a produção e a disseminação das informações acontecem de maneira cada vez mais rápida (NOBREGA, 1996; SHENK, 1997). O modelo mecanicista tem sido a forma de pensar dominante desde o século XVII, quando as leis de Newton legitimaram o mecanicismo e validaram suas implicações: linearidade, mono-causalidade, determinismo, reducionismo e imediatismo (TÓRRES, 2005). Este paradigma já não é mais suficiente para explicar os acontecimentos, pois isola as partes do fenômeno para analisá-las, considerando o todo como simples agregado das diversas partes. Os problemas de hoje são interligados, não havendo mais a possibilidade de soluções isoladas, apenas soluções sistêmicas parecem funcionar. Quando se caminha do simples para o complexo, o paradigma mecanicista mostra-se ineficiente na solução dos problemas

organizacionais. Agostinho (2003b) corrobora ao afirmar que o taylorismo e seus descendentes não conseguem dar conta do grau de incerteza e de fluidez que a economia e a sociedade vivem hoje. Desta maneira, as organizações de hoje só evoluem se aprenderem a funcionar como sistemas que trazem em sua estrutura a própria mudança (NOBREGA, 1996). Na tentativa de compreender a realidade fora do modelo mecanicista, novas teorias, abrangendo as mais diversas áreas do conhecimento, vêm sendo desenvolvidas. Podem-se citar aqui estudos referentes à Teoria da Complexidade, Teoria do Caos, Organizações Fractais, Lógica *Fuzzy*, dentre outros.

Uma das possibilidades é apresentada pela Teoria da Complexidade, que sugere que as organizações sejam vistas como sistemas complexos adaptativos (SCAs). Nobrega (1996) afirma que sistemas que atingem o grau de complexidade que está se revelando no mundo empresarial só sobrevivem se forem adaptativos, isto é, se aprenderem a mudar.

A Teoria da Complexidade aborda que os SCAs possuem um tipo de dinamismo que os torna capazes de responder ativamente ao que ocorre ao seu redor, fazendo-os qualitativamente diferentes de objetos estáticos (AGOSTINHO, 2003b). Esses sistemas apresentam uma característica peculiar: a capacidade de auto-organização.

Diante deste cenário, de intensa competitividade e mudança intensa, no qual as organizações do mundo inteiro estão imersas, a função produção assume um importante papel junto ao objetivo geral das organizações, uma vez que atua como apoio, como implementadora e como impulsionadora da estratégia organizacional (SLACK et al, 1997).

De maneira geral, as atividades relativas à administração das operações de produção tiveram sempre um foco prescritivo, sendo que essas atividades eram vistas como sistemas fechados ao ambiente em que se encontram. Percebe-se que a função produção precisa ser analisada como um sistema aberto ao seu ambiente de operação, sendo assim capaz de responder ativamente às mudanças.

O planejamento e controle da produção (PCP), visto de forma ampla, representa o eixo operacional de uma organização. É consoante a esta atividade que se constrói a estratégia. Sua eventual deficiência projeta-se de forma imediata na qualidade do bem ou serviço produzido, na falta de confiabilidade de informações, em um pior aproveitamento dos recursos de produção, no descumprimento de prazos, no gerenciamento dos insumos, entre outros. Os conceitos de eficiência e eficácia estão ligados a esta atividade.

Assim como as demais atividades referentes à administração das operações produção, o PCP foi por muito tempo visto como uma atividade fechada ao seu ambiente de operação. Hoje se percebe que o PCP é sensível aos acontecimentos ocorridos em seu ambiente externo. Sendo assim, acredita-se que vislumbrá-lo como um SCA será de grande valia, contribuindo para que organizações dos mais diferentes setores possam obter *insights* significativos no gerenciamento de suas operações de produção.

Perante o exposto até o momento, surge a justificativa para o presente trabalho, cuja proposta é sugerir uma nova abordagem para o estudo e a análise do PCP, através da Teoria da Complexidade. Busca-se assim compreender como a auto-organização trabalha no sentido de superar as não-linearidades emergentes na rotina de trabalho. Não-linearidades são definidas aqui como atividades ou situações que não estavam presentes na rotina de trabalho e que, quando emergem, forcem os trabalhadores a buscar uma solução.

Os resultados obtidos desta análise podem ser sistematizados teoricamente e incorporados à teoria do PCP, conforme mostra a Figura 1. Para Booney (2000) um dos princípios básicos do PCP é o de que a teoria e a prática devem ser complementares. Vale ressaltar que a Teoria da Complexidade é uma ciência relativamente nova, ainda em processo de formulação, e por isso pesquisas com resultados concretos sobre o tema reforçarão as bases de sustentação da teoria (NOBREGA, 1996; ERDMANN, 1998).

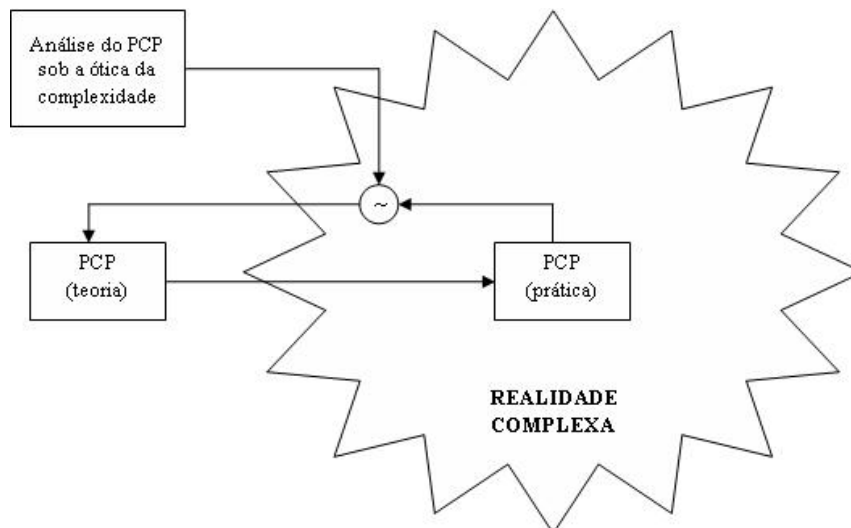


Figura 1 – Retroalimentação da teoria do PCP

2. Planejamento e controle da produção

Antes de definir e caracterizar o planejamento e controle da produção, mostra-se necessário compreender o conceito de sistema de produção. Segundo Moreira (1996), um sistema de produção é uma entidade abstrata, porém a definição do conceito é importante para se ter uma idéia da totalidade. Este autor define sistema de produção como sendo o conjunto de atividades e operações inter-relacionadas envolvidas na produção de bens ou serviços (MOREIRA, 1996).

Para Harding (1981, p.24), um sistema de produção “é um conjunto de partes inter-relacionadas, as quais, quando ligadas, atuam de acordo com padrões estabelecidos sobre inputs (entradas) no sentido de produzir outputs (saídas)”. Para Monks (1987) um sistema de produção reúne e transforma recursos de uma forma controlada, a fim de agregar valor, de acordo com os objetivos empresariais.

É importante ressaltar que um sistema de produção está sempre se comunicando com os outros sistemas componentes da organização, fazendo assim parte de um sistema maior.

Após a definição do que seja um sistema de produção, percebe-se que ele é composto por vários subsistemas. Baseando-se nas classificações de Harding (1981), Monks (1987) e Moreira (1996), podem-se identificar como os principais subsistemas envolvidos em produção:

- a) Entradas: são os recursos a serem transformados diretamente em produtos, como as matérias-primas, e mais os recursos que movem o sistema, como por exemplo, a mão-de-obra.
- b) Processo de transformação: refere-se ao subsistema pelo qual as entradas vão ser transformadas em saídas. Na produção de bens materiais, esse sistema muda o formato das matérias-primas ou muda a composição e a forma dos recursos.
- c) Saídas: esse subsistema é o responsável pela expedição e distribuição dos bens/serviços produzidos. É através desse subsistema que o retorno financeiro pela produção da empresa é obtido.
- d) Sistemas de planejamento: uma vez que a produção exige planejamento contínuo, esse subsistema é responsável pelo planejamento da qualidade, da quantidade e dos tempos de produção.

e) Sistemas de controle: é o conjunto de atividades que visa assegurar que programações sejam cumpridas, que padrões sejam obedecidos, que os recursos estejam sendo usados de forma eficaz e que a qualidade desejada seja obtida.

De acordo com Harding (1981) os subsistemas de planejamento e controle estão rigorosamente interligados. São dois subsistemas vitais na operacionalização da produção, pois ambos gerenciam a produção e são responsáveis pela obtenção dos resultados desejáveis em termos de quantidade, qualidade e tempo. Eles compõem assim o chamado PCP – planejamento e controle da produção.

Dentro de um sistema de produção, o PCP exerce um papel fundamental. É uma atividade que oferece suporte gerencial à produção, projetando o que deve ser feito, acionando e após exercendo os respectivos controles (ERDMANN, 2000). Assim, pode-se dizer que o PCP dita o ritmo da produção e da empresa, podendo ser considerado como um dos responsáveis por uma vantagem competitiva fundamental: a qualidade dos bens e serviços produzidos.

Harding (1981) define planejamento da produção como aquela atividade que objetiva satisfazer as datas de entrega aos clientes com o mínimo custo total por meio do planejamento da seqüência das atividades de produção. Para Burbidge (1981, p.21), o controle da produção é uma função administrativa relacionada com “o planejamento, direção e controle do suprimento de materiais e das atividades de processo em uma empresa”.

Zaccarelli (1979, p.1) define o PCP como sendo “um conjunto de funções inter-relacionadas que objetivam comandar o processo produtivo e coordená-lo com os demais setores administrativos da empresa”. Este mesmo autor afirma também que a PCP pode ser visto como um sistema de transformação de informações. São recebidas informações sobre estoques existentes, vendas previstas, linha de produtos, modo de produzir, capacidade produtiva etc. A transformação dessas informações em ordens de fabricação seria a incumbência da PCP.

Russomano (1995, p.47) define o PCP como sendo uma “função de apoio de coordenação das várias atividades de acordo com os planos de produção, de modo que os programas preestabelecidos possam ser atendidos com economia e eficiência”. De maneira semelhante, Slack et al. (1997) diz que o propósito do PCP é garantir que a produção ocorra de maneira eficaz e produza bens e serviços conforme planejado.

A partir das definições encontradas na literatura, percebe-se que a elaboração e a consolidação do PCP são fundamentais para garantir a eficiência e a eficácia do sistema produtivo. Nota-se também que não há entre os autores um consenso para uma definição universal do PCP e quais as funções a ele atribuídas. Porém todos eles seguem uma mesma direção, ou seja, indicam que o PCP é um sistema de apoio à produção, que comanda e coordena o processo produtivo, objetivando cumprir o planejamento e a programação dos processos de maneira eficaz, para assim satisfazer os requisitos de tempo, qualidade e quantidades do sistema produtivo. As etapas do PCP também são definidas de maneira diferente na literatura.

Para Burbidge (1981), o PCP, assim como todo sistema de planejamento eficiente, começa pela definição de um objetivo e de uma política geral. Em seguida, o esboço de um plano em unidades maiores é elaborado, e em seguida, o plano de produção vai sendo progressivamente detalhado. Assim, o autor divide as funções do PCP em três etapas principais, começando com o planejamento da produção, onde são determinadas as datas nas quais os produtos devem ser vendidos ou terminados. Em seguida passa-se à emissão de ordens, que planeja a entrada de materiais dos fornecedores e o volume de produção dos setores produtivos, através de ordens de fabricação e requisições de compra. Por fim, tem-se a liberação, onde as diferentes operações do processo produtivo são programadas.

Para Zaccarelli (1979), o PCP começa com a elaboração do plano de produção, onde é determinado quanto será produzido em cada período, baseando-se para tanto na previsão de vendas, na capacidade produtiva e na linha de produtos. Em seguida tem-se a emissão de

ordens, onde são autorizadas a compra, a fabricação e a montagem dos itens. Depois as informações programadas são passadas à fábrica, desencadeando desta maneira a produção. Por fim, tem-se o controle central, que compara o realizado com o programado e informa sobre o andamento dos trabalhos na fábrica.

Russomano (1995) divide o PCP em cinco etapas principais. A primeira delas seria a gestão dos estoques, que mantém a produção abastecida de matérias-primas, peças, componente, acessórios e material auxiliar. Em seguida tem-se a emissão das ordens de produção, que consiste em elaborar um programa de produção, baseado num plano de vendas, para se ter os itens necessários nos momentos certos. Depois se tem a programação das ordens de fabricação, que verifica se a preparação da produção foi efetivamente realizada quanto aos recursos necessários. A quarta etapa seria a movimentação das ordens de fabricação, que se refere ao envio e coordenação das diversas vias da ordem. Finalmente, tem-se o acompanhamento da produção, que consiste basicamente na comparação entre o que foi programado com o que foi produzido e a ação de corrigir os desvios, caso sejam existentes.

No intuito de explicar os termos componentes do termo PCP, Erdmann (2000) diz que planejamento e programação, apesar de serem originalmente similares, podem assumir funções distintas, sendo que o planejamento pode estar ligado a projeções gerais e de longo prazo, enquanto a programação refere-se ao dia-a-dia ou a horizontes mais restritos. Já o controle é um sistema que verifica e corrige possíveis desvios existentes no rumo da produção. Seguindo esta definição, Erdmann (2000, p.31) divide as funções do PCP de maneira ampla e geral da seguinte maneira:

- O que, como e quanto, dizem respeito a questões relativas a horizontes longos e, portanto, fazem parte do *planejamento*;
- Para o dia-a-dia, após redefinir-se quanto de cada produto deva ser obtido, estabelece-se quanto (precisamente a cada período), com que materiais, onde, por quem e quando acontecerá a elaboração dos mesmos e isto será competência da *programação* ou do controle, se entender-se essa função como integrante desta;
- Ao *controle*, no sentido restrito do termo, compete a verificação de todas as atividades e etapas, comparando o que for realizado com o que tiver sido projetado, adotando-se as medidas necessárias para que os rumos sejam mantidos.

3. A Teoria da Complexidade e os sistemas complexos adaptativos

Segundo Agostinho (2003a), a palavra complexidade pode assumir dois sentidos. O primeiro deles, mais simplório, refere-se a certos tipos de fenômenos que podem ser classificados como “complicados”. Porém, a palavra complexidade é usada aqui como referência a uma classe de fenômenos para os quais a idéia-chave é interação. Para Morin (1996, p.274), “há complexidade onde quer que se produza um emaranhamento de ações, de interações, de retroações”. Mariotti (2000, apud REBELO, 2004) corrobora Morin ao afirmar que a complexidade corresponde à multiplicidade, ao entrelaçamento e à contínua interação da infinidade de sistemas e fenômenos que compõem o mundo natural.

Pode-se dizer que sistemas complicados são aqueles passíveis de serem decompostos em unidades básicas, mais simples, sem que as propriedades sistêmicas sejam perdidas. Já quando essa operação de redução é aplicada a sistemas complexos, a relação entre os elementos do sistema é rompida, e este perde assim algumas de suas propriedades, ou seja, o todo é maior do que a soma das partes.

Um outro aspecto que pode ser utilizado na distinção de um sistema complicado e de um sistema complexo é o controle. Iarozinski (2001, apud LEITE et al., 2004) destaca que nos sistemas complicados o controle pode ser total. Estes sistemas podem ser controlados a partir de uma base programada de regras, uma vez que a evolução do sistema é conhecida e previsível. Já quanto aos sistemas complexos, pode-se dizer que o controle total é inatingível,

uma vez que está relacionado ao entendimento completo das relações entre os elementos do sistema, relações estas sempre sujeitas à variedade, à incerteza e à imprevisibilidade.

A concepção mecanicista da ciência tem origem no paradigma newtoniano, segundo o qual todo o universo pode ser visto como um grande relógio e que, separando-se as partes pode-se chegar ao entendimento do todo. Visto desta perspectiva, o mundo está constantemente em um estado de equilíbrio, e qualquer evento que venha a alterar este estado de equilíbrio deve ser evitado.

A ciência da Complexidade surge diante da necessidade de uma nova concepção de ciência, fora do padrão mecanicista/newtoniano convencional, na busca do entendimento de como certas coisas – células, um bando de pássaros, cidades, civilizações, organizações – conseguem manter uma coerência em situações de contínua mudança, sem que haja um planejamento central (NOBREGA, 1996).

A Complexidade é uma ciência que estuda as propriedades emergentes, ou seja, propriedades que surgem da interconexão dos elementos de um sistema, e que surgem num certo nível de relação, não existindo nos níveis inferiores. Desta maneira, uma vez que certas condições estejam presentes, a ordem pode surgir de situações aparentemente caóticas (AGOSTINHO, 2003a).

Segundo Morin (1977), os sistemas vivem em constante oscilação dentro do anel tetralógico de ordem/desordem/interação/organização. Sendo assim, a partir de um momento de desordem, os indivíduos, por intermédio das interações, provocam uma nova ordem da organização e assim sucessivamente. Os conceitos de ordem e de organização só se desenvolvem em função um do outro. Quanto mais a ordem e a organização se desenvolvem, mais se tornam complexas, mais toleram, utilizam e necessitam até da desordem. Desta maneira, a organização é o resultado das interações dinâmicas da desordem com os acomodamentos estáticos da ordem (MORIN, 1977).

Conforme afirma Klement (p.6, 2000), “ordem, desordem e organização não são lineares, nem mutuamente excludentes. Estas noções interagem dialogicamente, isto é, relativizam-se continuamente, mantendo o sistema em atividade”. Assim sendo, evidencia-se que os sistemas complexos adaptativos (SCAs) existem na dialógica entre a ordem e a desordem (LEITE et al., 2004).

O termo sistemas complexos adaptativos foi cunhado diante da percepção de que certos tipos de sistemas são capazes de responder ativamente aos acontecimentos ao seu redor. Para Gell-Mann (1994, p.35) um SCA é assim classificado quando ele

adquire informação sobre seu meio ambiente e sobre sua própria interação com este meio ambiente, identificando regularidades naquela informação, condensando estas regularidades em um tipo de “esquema” ou modelo, e atuando no mundo real com base neste esquema. Em cada caso, há vários esquemas competindo, e os resultados da ação sobre o mundo real retroalimentam o esquema e influenciam a competição entre eles.

A partir da classificação de Gell-Mann, Agostinho (2003b) identifica a adaptação como sendo a propriedade básica dos sistemas complexos adaptativos, no sentido de que o sistema é capaz de ajustar seu comportamento a partir do que consegue perceber sobre as condições do seu meio ambiente e sobre seu desempenho. Nobrega (1996) corrobora ao afirmar que os sistemas complexos aprendem, auto-organizam-se e evoluem através da habilidade de processar a informação que chega de fora.

Tomando por base o funcionamento dos sistemas complexos adaptativos, Agostinho (2003b) elege quatro conceitos-chave que definem a abordagem das organizações vistas como sistemas complexos adaptativos: autonomia, cooperação, agregação e auto-organização. São conceitos fortemente entrelaçados que indicam como a ordem no sistema pode emergir através das ações de suas partes.

Esses conceitos se relacionam da seguinte maneira (AGOSTINHO, 2003b, p.36):

Indivíduos autônomos, capazes de aprender e de se adaptarem, **cooperam** entre si obtendo vantagens adaptativas. Tal comportamento tende a ser selecionado e reproduzido, chegando ao ponto em que estes indivíduos cooperativos se unem formando um **agregado** que também passa a comportar-se como um indivíduo e assim por diante. Diz-se, então, que o sistema resultante se **auto-organiza**, fazendo emergir um comportamento global cujo desempenho também é avaliado por pressões de seleção presentes no ambiente (externo e interno).

Zimmerman (1999) procura definir um SCA através da definição de cada palavra que compõe o termo. Por sistema entende-se um conjunto de elementos conectados ou interdependentes; adaptativo sugere a capacidade de alteração ou de mudança – a habilidade de aprender através da experiência; já complexo implica em diversidade – um grande número de conexões entre uma grande variedade de elementos.

Para Stacey (2000, apud REBELO 2004) um SCA consiste de um grande número de componentes, ou agentes, os quais se comportam de acordo com seus próprios princípios de interação local, num processo de auto-organização. Esses sistemas aprendem e evoluem de maneira adaptativa, ou seja, registram informações para extrair regularidades, inserindo-as dentro de esquemas que são continuamente mudados à luz da experiência.

Holland (1996, apud AGOSTINHO, 2003b) descreve os SCAs como sendo sistemas que exibem “coerência” sem “direção central” e que esses sistemas possuem pontos de alavancagem, onde pequenas quantidades de *inputs* produzem grandes e direcionadas mudanças. Para Agostinho (2003b), dizer que esses sistemas exibem coerência sem direção central significa dizer que tais sistemas se auto-organizam, sendo que o padrão ordenado desses sistemas emerge da interação entre seus diversos componentes. Afirma-se assim que os elementos componentes do sistema estão livres para colocarem em prática sua capacidade de aprendizado e de adaptação.

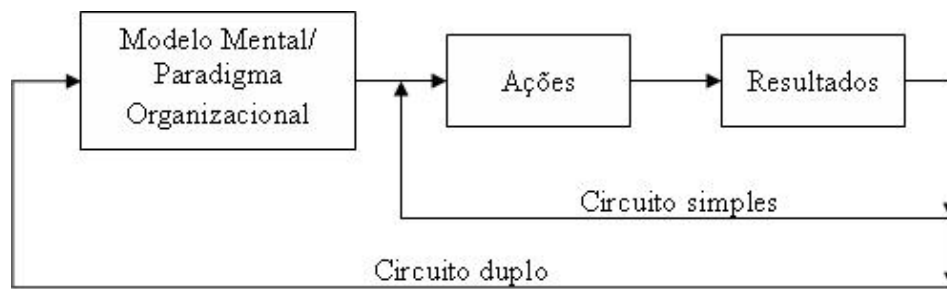
Agostinho (2003b) resalta também a importância da existência de pontos de alavancagem, ou seja, pontos em que uma ação pode gerar efeito amplificador. Assim, é esperado que se possa influenciar o comportamento de um SCA através de ações dirigidas a certos pontos de alavancagem, gerenciando assim o processo de auto-organização do sistema.

Uma das características principais de um SCA é o fato de ser um sistema aberto. Stacey (1991) argumenta que sistemas abertos necessitam de uma forma de aprendizagem diferente daquelas encontradas em sistemas fechados, e que o caos e a instabilidade dentro dos sistemas podem colaborar no desenvolvimento de *insights* na resolução dos problemas.

Smith e Eliot (1999) afirmam que uma das barreiras à frente da aprendizagem é a tendência do sistema de focar o aprendizado no circuito simples (*single-loop*) ao invés do circuito duplo (*double-loop*).

A aprendizagem em circuito simples apóia-se numa habilidade de detectar e corrigir o erro com relação a um dado conjunto de normas operacionais. As estratégias são definidas de acordo com o modelo mental do sistema, não se criando dessa maneira inovação, uma vez que apenas repetem-se práticas consideradas adequadas (ARGYRIS, 1978, apud SMITH, 2001; MORGAN 1996). Assim, o conhecimento obtido com a experiência é reproduzido pelo agente e por aqueles que aderem à experiência (STACEY, 1998, apud REBELO 2004).

A saída é a utilização de outra forma de aprender que conduz à inovação daquilo que está sendo sistematicamente praticado (REBELO, 2004). A aprendizagem em circuito duplo depende da capacidade de olhar-se duplamente a situação, questionando a relevância das normas de funcionamento e das variáveis do modelo vigente, ocorrendo assim um processo de reflexão sobre a alteração do modelo mental que impele o primeiro circuito (ARGYRIS, 1978, apud SMITH, 2001; MORGAN, 1996). A Figura 2 mostra esquematicamente o funcionamento da aprendizagem em circuito simples e em circuito duplo.



Fonte: Adaptado de Smith (2001).

Figura 2 – Circuito simples e circuito duplo de aprendizagem

Stacey (1998, apud REBELO 2004) adverte que a aprendizagem em circuito simples é apropriada para lidar com situações previsíveis bem definidas, mas é necessária a aprendizagem em circuito duplo nas situações ambíguas e imprevisíveis das quais emergem as inovações.

O processo de aprendizagem, seja por circuito simples ou por circuito duplo, está intrinsecamente ligado a um conceito oriundo da cibernética, a realimentação, que exerce um papel importante no delineamento da dinâmica dos sistemas. Podem ser distinguidos dois tipos de realimentação, a realimentação negativa (ou de auto-equilibração) e a realimentação positiva (ou de auto-reforço) (CAPRA, 1996).

Processos de realimentação negativa são aqueles em que uma mudança em uma variável inicia uma mudança na direção oposta. Esse tipo de processo explica a estabilidade do sistema. Por outro lado, os processos de realimentação positiva são aqueles segundo os quais mais leva a mais e menos leva a menos, ou seja, há uma amplificação do estímulo inicial aplicado ao sistema. Esses processos são importantes em termos da explicação da mudança do sistema (MORGAN, 1996).

Ainda segundo Morgan (p.254, 1996), os mecanismos de realimentação, juntos, “podem explicar as razões pelas quais os sistemas ganham ou preservam determinada forma e como esta forma pode ser elaborada e modificada com o tempo”.

Diante do exposto, pode-se sumarizar que um SCA interage com seu ambiente, aprendendo e evoluindo com a experiência, e desta maneira, adapta-se às novas situações que surgem em seu ambiente. Podem-se enumerar como características comuns aos SCAs:

- Complexidade vs. Simplicidade – apesar de ser um sistema globalmente complexo, é um sistema que apresenta simplicidade local.
- Grande número de componentes que interagem entre si e influenciam uns aos outros – ou seja, são integrados por elevado número de componentes que interagem entre si.
- Não conseguem ser analisados pelos métodos científicos lineares de causa e efeito – o método reducionista de análise não é utilizável para o estudo e previsão desses sistemas. O todo é maior do que a soma das partes, e as partes apresentam resultado sinérgico.
- Sempre há aspectos aleatórios envolvidos, ou seja, não são, de forma alguma, sistemas determinísticos ou previsíveis.
- Ampla diversidade de componentes que se inter-relacionam e que mantêm similaridades dentro da diversidade.
- São capazes de evoluir, se adaptar e aprender de acordo com mudanças nas características de seu ambiente.

- Não há uma coordenação global, efetiva e duradoura, apesar de que vários mecanismos de coordenação menos rígidos possam estar presentes.

4. Análise do PCP sob a ótica da complexidade

Um sistema de produção é uma das partes integrantes de uma organização, ao lado de outras partes, como vendas, marketing, gestão de pessoal, dentre outras. O sistema de produção, por sua vez, é composto por subsistemas, dentre eles o subsistema do planejamento e controle da produção.

Foi visto que há diferentes definições e atribuições de funções para o PCP, que de maneira geral indicam que o PCP é um sistema de apoio à produção, que comanda e coordena o processo produtivo, objetivando cumprir o planejamento e a programação dos processos de maneira eficaz, para assim satisfazer os requisitos de tempo, qualidade e quantidades do sistema.

Teoricamente, a administração da produção sugere as ações de maneira prescritiva, de acordo com o paradigma mecanicista. No entanto, verifica-se que as práticas de planejamento, programação e controle das operações já não representam a efetividade desejada. Nem sempre o que é planejado ou programado ocorre da maneira que foi prevista. A quantidade de relações, tanto internas quanto externas à organização, torna impossível saber os resultados de todas as interações e combinações possíveis (AGOSTINHO, 2003b).

Neste sentido, “(...) os limites de uma ação gerencial clássica tornam-se evidentes - dificuldade ou impossibilidade de planejamento e controle totais, limites cognitivos à racionalidade e mesmo o processo de complexificação do mundo” (AGOSTINHO, 2003a, p.3).

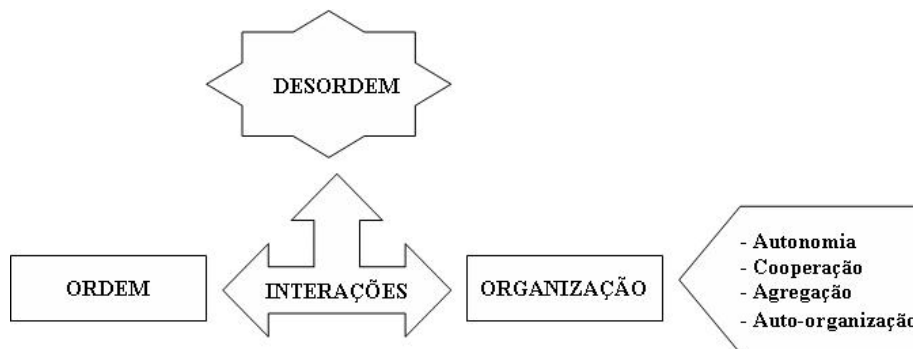
A partir daí surge a proposta de analisar o PCP sob a ótica de um novo paradigma, baseado na Teoria da Complexidade, para assim compreender como funciona o processo de auto-organização nesses sistemas.

Assim, e de acordo com o que foi apresentado neste trabalho, tem-se que o PCP pode ser visto como sendo um SCA por uma série de razões principais, aqui citadas:

- a) É um sistema, uma vez que é um agrupamento de partes que operam juntas, buscando atingir um objetivo em comum.
- b) É um sistema dinâmico, pois o tempo é uma variável do sistema.
- c) É um sistema aberto, pois se relaciona o tempo todo com o ambiente externo.
- d) É um sistema complexo, não-linear, uma vez que se verifica a presença tanto de realimentação positiva quanto de realimentação negativa. No PCP esses dois ciclos de realimentação são necessários, os positivos para que ocorra a evolução do sistema, e os negativos devido à necessidade de corrigir os desvios de rota na etapa do controle da produção.
- e) É um sistema adaptativo, pois as partes mudam para se adaptar a estímulos internos ou externos. Como consequência desse fato, as regras de inter-relacionamento dentro do sistema podem mudar também.

Desta maneira, utilizando-se o anel tetralógico de Morin (1977), busca-se a compreensão do fenômeno da adaptação complexa nos sistemas de PCP. A Figura 3 apresenta um esquema para realizar-se a análise proposta. Busca-se compreender se e de que maneira os conceitos-chave de Agostinho (2003b) estão presentes na ORGANIZAÇÃO do sistema frente às não-linearidades, num esforço de retorno da DESORDEM para a ORDEM. Para tanto, deve-se tentar procurar identificar no sistema a ser estudado as seguintes características de cada conceito-chave preconizado:

- **Autonomia:** pode ser verificada pela existência de canais de participação e pelo tipo de influência permitido. Na análise do sistema, buscar identificar as vantagens referentes à autonomia: adaptabilidade, aumento da diversidade, aprendizado, redução de erros e solução de conflitos.
- **Cooperação:** pode ser verificada pela existência de mecanismos que estimulem o encontro entre as pessoas e a existência do espírito de equipe, propiciando assim a facilidade de acesso às informações, a existência de oportunidades de crescimento, a interação com o ambiente externo, a expansão dos limites da empresa e para além da empresa.
- **Agregação:** pode ser verificada pela existência de redes colaborativas, onde as ações dos grupos são interdependentes, na busca de se atingir um objetivo comum, propiciando assim a sedimentação da aprendizagem e o surgimento das propriedades emergentes do sistema.
- **Auto-organização:** verificada pela existência de condições propícias para a emergência do potencial auto-organizante do sistema, condições essas advindas dos conceitos-chave anteriores, afastando-se assim da prescrição e do controle.



Fonte: Adaptado de Morin (1977) e Agostinho (2003b).

Figura 3 – Esquema parcial de análise dos dados

A ORDEM representa a estrutura e o funcionamento do PCP tal como foi projetada nas empresas, devendo-se compreender detalhadamente a estruturação do PCP da empresa analisada. A DESORDEM reflete as múltiplas não-linearidades, em princípio imprevistas e indesejadas. São as perturbações do ambiente e as combinações decorrentes. Tem-se assim a oportunidade de entender ou então perceber as oportunidades para criar diferenciações internas, capazes de subsidiar a ORGANIZAÇÃO, que seria a reação a uma desordem, ou seja, é a retomada (ou tentativa) da situação original.

Quando a situação original não é alcançada ou não é visada, pode-se buscar um patamar novo de operação, podendo ser um estágio evoluído, capaz de proporcionar vantagem competitiva à organização. Assim, analisa-se também o processo de evolução do sistema a cada experimentação, conforme preconiza o circuito duplo de Stacey (1998, apud REBELO 2004). Para tanto, dever-se-á verificar se a aprendizagem advinda da resolução das não-linearidades emergentes no PCP é de fato incorporada ao sistema de PCP da empresa, conduzindo assim a um processo de adaptação contínua.

5. Considerações finais

O objetivo principal deste trabalho foi o de sugerir uma nova abordagem para o estudo e análise do PCP, tendo como base os preceitos da Teoria da Complexidade. Dentro do cenário

de rápida mudança ao qual as organizações estão submetidas, acredita-se que vislumbrar os sistemas como abertos ao ambiente em que se encontram é crucial para o entendimento de suas relações e interconexões.

Sob o ponto de vista da Complexidade, as organizações podem ser vistas como um fenômeno que emerge da ação e interação dos agentes componentes de um sistema. Vislumbrar as organizações como SCAs nos permite buscar soluções para os problemas advindos da crescente complexidade em seu ambiente.

Abandona-se assim a linearidade herdada do paradigma mecanicista, que enfatiza a subdivisão do sistema em suas partes, em favor de uma visão mais integrada, em que a solução vem da dinâmica do sistema como um todo e emerge daí, não da soma das ações isoladas das partes.

Assim, este trabalho encerra uma abordagem para estudos do PCP, visto como sistema complexo adaptativo. Não há um sistema de PCP considerado universal, mormente diante dos preceitos da complexidade. Porém, abordagens sucessivas dentro desta ótica permitirão contribuir para o enriquecimento e “complexificação” da teoria em PCP e nortear trabalhos futuros.

Referências

AGOSTINHO, M. C. E. Administração complexa: revendo as bases científicas da administração. *RAE eletrônica*, v.2, n.1, São Paulo, jan-jun/2003a. 18 p.

_____. *Complexidade e organizações: em busca da gestão autônoma*. São Paulo: Atlas, 2003b. 142 p.

BURBIDGE, J. L. *Planejamento e controle da produção*. São Paulo: Atlas, 1981. 556 p.

BOONEY, M. Reflections on production planning and control (PPC). *Gestão e Produção*, v.7, n.3, São Carlos, 2000. 27 p.

CAPRA, F. *A teia da vida: uma nova compreensão científica dos sistemas vivos*. São Paulo: Cultrix, 1996. 256 p.

DRUCKER, P. F. *Administrando para o futuro: os anos 90 e a virada do século*. 5 ed. São Paulo: Pioneira, 1996. 242 p.

ERDMANN, R. H. *Organização de sistemas de produção*. Florianópolis: Insular, 1998. 214 p.

_____. *Administração da produção: planejamento, programação e controle*. Florianópolis: Papa Livro, 2000. 201 p.

GELL-MANN, M. *O quark e o Jaguar: as aventuras no simples e no complexo*. Rio de Janeiro: Rocco, 1996. 395 p.

HARDING, H. A. *Administração da produção*. São Paulo: Atlas, 1981. 207 p.

KLEMENT, C. F. F. *Complexidade no sistema de produção de serviços: um estudo de caso no setor hoteleiro*. Dissertação de Mestrado em Administração, CPGA-UFSC. 2000. 91 p.

LEITE, M. S. A.; BORNIA, A. C. e COELHO, C. C. S. R. Os conceitos de dialógica e sistema adaptativo complexo (SAC) aplicados à cadeia de suprimentos: uma contribuição da ciência da complexidade. *Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção*. n.3, Itajubá, 2004. 16 p.

MONKS, J. G. *Administração da produção*. São Paulo: McGraw Hill, 1987. 502 p.

MOREIRA, D. A. *Administração da produção e operações*. 2. ed. São Paulo: Pioneira, 1996. 619 p.

MORGAN, G. *Imagens da organização*. São Paulo: Atlas, 1996. 421 p.

MORIN, E. *O método 1. A natureza da natureza*. Portugal: Europa-América, 1977. 363 p.

MORIN, E. Epistemologia da complexidade. Em: SCHNITMAN, D. F. (Org). *Novos paradigmas, cultura e subjetividade*. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996. 294 p.

- NOBREGA, C. *Em busca da empresa quântica: analogias entre o mundo da ciência e o mundo dos negócios*. Rio de Janeiro: Ediouro, 1996. 382 p.
- PETERS, T. & WATERMAN JR., R. H. *Vencendo a crise: como o bom senso empresarial pode superá-la*. São Paulo: Harper & Row do Brasil, 1983. 351 p.
- REBELO, L. M. B. *A dinâmica do processo de formação de estratégias de gestão em universidades: a perspectiva da teoria da complexidade*. Tese de Doutorado em Engenharia de Produção, PPGEP-UFSC, 2004. 278 p.
- RUSSOMANO, V. H. *PCP: planejamento e controle da produção*. 5. ed. São Paulo: Pioneira, 1995. 320 p.
- SHENK, D. *Data smog: surviving the information glut*. London: Abacus, 1997. 250 p.
- SLACK, N., et al. *Administração da produção*. São Paulo: Atlas, 1997. 726 p.
- STACEY, R. D. *The Chaos Frontier: creative strategic control for business*. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1991. 409 p.
- SMITH, D.; ELLIOTT, D. Moving beyond denial: exploring the barriers to learning from crisis. *Centre for Risk & Crisis Management*, 1999. 24 p. Disponível em: <http://www.shef.ac.uk/~mcn/6810/reading/bjm-moving-beyond-denial.pdf#search='Denis%20Smith%20and%20Dominic%20Elliott'>.
- SMITH, M. K. Chris Argyris: theories for action, double-loop learning and organizational learning. *The encyclopedia of informal education*, 2001. 16 p. Disponível em: www.infed.org/thinkers/argyris.html.
- TÔRRES, J. J. M. Teoria da complexidade: uma nova visão de mundo para a estratégia. In: Encontro Brasileiro de Estudos da Complexidade, 1, 2005, Curitiba. *Anais do I.EBEC*. 10 p.
- ZACCARELLI, S. B. *Programação e controle da produção*. 5. ed. São Paulo: Pioneira, 1979. 292 p.
- ZIMMERMAN, B. Complexity science: a route through hard times and uncertainty. *Health Forum Journal*. Mar/Apr, 1999. 6 p.