

## Aplicação da Dinâmica de Sistemas em processo de melhoria na distribuição logística

Leila Keiko Canegusuco Jansen (POLIUSP) leila.jansen@poli.usp.br

Roberto Gilioli Rotondaro (POLIUSP) rotondar@cwaynet.com.br

### Resumo

*Não é nada fácil conhecer todo o sistema no qual se está inserido. Mas, sem conhecê-lo dificilmente serão definidas políticas que produzam benefícios sustentáveis. Desenvolver o Pensamento Sistêmico é uma forma de aumentar a habilidade de enxergar a realidade como um sistema complexo - em constante mudança e com os seus elementos se inter-relacionando - e de lançar políticas que não produzam efeitos indesejados ou que o sistema se oponha a elas. Este artigo apresenta um estudo de caso sobre um processo de melhoria na distribuição logística de uma empresa multinacional do setor elétrico. A equipe de trabalho abordou o problema utilizando como ferramenta a Dinâmica de Sistemas. Como resultado do estudo se observou que a equipe não apenas ganhou uma visão mais profunda e ampla do sistema, mas obteve esse entendimento de modo compartilhado por todos os membros da equipe. Um outro resultado importante foi a descoberta de um entrelaçamento contra-intuitivo entre os dois problemas considerados prioritários pelo departamento, que deverá ser levado em consideração na nova definição das políticas de operação.*

*Palavras-chave: Dinâmica de Sistemas, Processo de Melhoria, Distribuição Logística.*

### 1. Introdução

As organizações normalmente se deparam com problemas estratégicos e operacionais que requerem decisões. Segundo Forrester (1961) as decisões não são inteiramente tomadas por livre arbítrio, mas são fortemente condicionadas pelo ambiente. Desta forma, pode-se lançar as políticas que governam as decisões e determinar como elas afetam o comportamento organizacional.

Para se lançar políticas de modo a que o sistema não se oponha a elas de maneira inesperada a utilização da visão sistêmica é bastante recomendada.

Este artigo apresenta um estudo de caso do Departamento de Logística de uma empresa do setor elétrico situada no estado de São Paulo, aqui denominada de Beta. Este departamento se deparava com dois problemas cujas atenções eram consideradas prioritárias. O primeiro era diminuir as interrupções e confusões geradas no processo de tratamento do pedido pelas retiradas pelos clientes dos produtos por estes comprados. O segundo era diminuir o número de pedidos considerados urgentes. A fim de não impactar nas atividades do dia a dia, a empresa decidiu tratar como Processos de Melhoria um após o outro, começando pelo primeiro citado. Uma abordagem utilizando a Dinâmica de Sistemas foi utilizada.

A metodologia utilizada contou com as seguintes etapas: Definição do problema, Levantamento da evolução do problema ao longo do tempo, Construção do Diagrama de Enlace Causal inicial, Refinamento do Diagrama de Enlace Causal e Elaboração de nova política operacional.

## 2. Conceitos Básicos

### 2.1 Pensamento Sistêmico

Pensamento sistêmico é a habilidade de ver o mundo como um sistema complexo, compreendendo que os elementos que o compõe se inter-relacionam. A visão sistêmica permite aprender mais rápido e eficazmente, permite tomar decisões consistentes com os próprios interesses e os do sistema no longo prazo, impedindo que o sistema resista às políticas implantadas (STERMAN, 2001).

Senge (1990) define o pensamento sistêmico como um quadro de referência conceitual, composto por um conjunto de ferramentas desenvolvido no período de 1940 a 1990 para esclarecer os padrões de comportamento como um todo e ajudar a ver como é possível modificá-los efetivamente.

Um bom exemplo que demonstra a necessidade do pensamento sistêmico foi a corrida armamentista que envolveu os Estados Unidos e a União Soviética (SENGE, 1990; STERMAN, 2000). Durante aproximadamente quarenta anos essas duas potências se engajaram em uma corrida cujas raízes não eram nem ideologias políticas rivais nem as armas nucleares, mas a mesma forma de pensar de ambas as partes. O ponto de vista norte-americano e o soviético estão apresentados na Figura 1. Para cada um dos lados o oponente era o agressor e a expansão das armas nucleares era uma resposta defensiva às ameaças impostas.

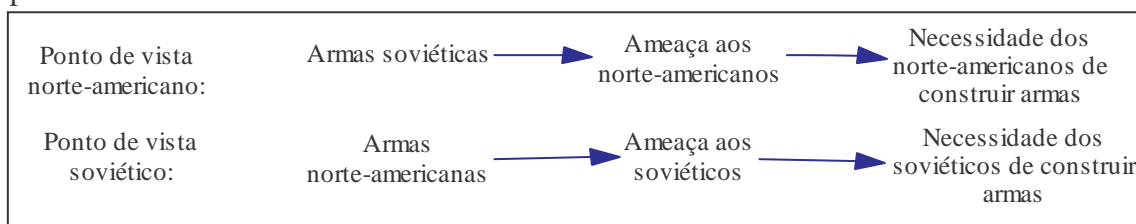


Figura 1- Pontos de vista norte-americano e soviético da Corrida Armamentista

Fonte: Senge (1990)

Mas, os pontos de vista individuais dos dois países interagem criando um sistema, um conjunto de variáveis que se influenciam mutuamente criando um ciclo perpétuo de agressão, conforme Figura 2. No curto prazo cada um responde ao que percebe como uma ameaça, o que o deixa aliviado. No longo prazo, entretanto, essas atitudes aumentam cada vez mais a ameaça.

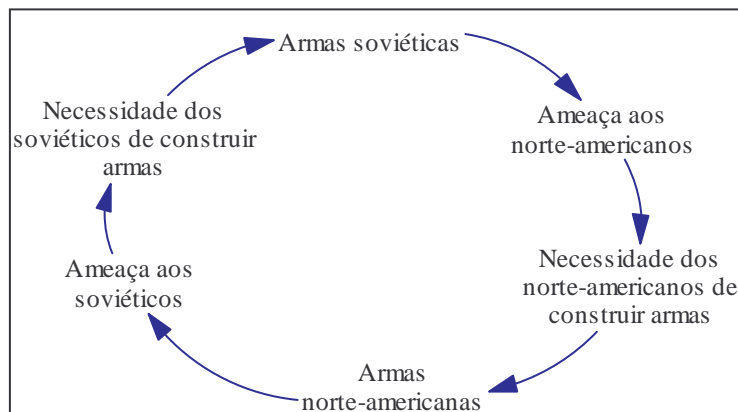


Figura 2 – Visão sistêmica da Corrida Armamentista

Fonte: Senge (1990)

## 2.2 Complexidade Dinâmica

Cada vez mais aumentam as suspeitas dos responsáveis pelas organizações de que muitas das ferramentas que são utilizadas para resolverem os problemas, além de não o fazerem também criam outros como efeitos colaterais. A tendência é que as intervenções sejam frustradas pela resposta do sistema às mesmas. Essa reação do sistema às intervenções surge devido à complexidade do mundo, que sobrepuja o entendimento humano.

Quando se fala de complexidade pensa-se normalmente em termos de número de componentes em um sistema ou número de combinações possíveis para uma tomada de decisão. Um exemplo de alta complexidade combinatória é a otimização de programação de vôos e equipes das companhias aéreas, onde o objetivo é encontrar a melhor solução entre as inúmeras possibilidades. A complexidade dinâmica, entretanto, pode surgir mesmo em sistemas simples com baixa complexidade combinatória, como no caso do Beer Game (SENGE, 1990), onde comportamentos complexos e disfuncionais surgem em um sistema simples, com poucas regras. A complexidade dinâmica surge das interações entre os agentes ao longo do tempo.

Diante da complexidade, entretanto, respondemos utilizando modelos mentais que são limitados, internamente inconsistentes e não dignos de confiança.

## 2.3 Dinâmica de Sistemas

Um dos desafios atualmente existentes nas organizações é de como passar dos slogans sobre aprendizado acelerado e pensamento sistêmico para ferramentas úteis que auxiliem a compreender a complexidade, a projetar melhores políticas de operação e a guiar mudanças eficazes (STERMAN, 2000, 2001).

A Dinâmica de Sistemas é uma maneira de estudar o comportamento de sistemas para verificar como as políticas, decisões, estruturas e atrasos no sistema estão inter-relacionados para influenciar crescimento e estabilidade. Inicialmente foi chamada de Dinâmica Industrial pelo seu criador Forrester (1961) e foi fundamentada na teoria de dinâmica não linear e controle realimentado, na teoria da decisão e nos recursos computacionais. Apresenta-se como um método para aumentar o aprendizado em sistemas complexos.

Como essas ferramentas são aplicadas tanto ao comportamento humano como aos sistemas técnicos, a dinâmica de sistemas percorre a psicologia social e cognitiva, teoria da organização, economia e outras ciências sociais (STERMAN, 2001).

A abordagem da Dinâmica de Sistemas é de construir modelos qualitativos e quantitativos para determinar como as políticas e informações criam o comportamento da organização.

Um processo de modelagem com a Dinâmica de Sistemas sugerido por Sterman (2000) compõe-se das etapas seguintes: articulação do problema, formulação da hipótese dinâmica, formulação do modelo de simulação, teste, projeto de políticas e avaliação.

## 2.4 Diagrama de Enlace Causal

Para melhorar a habilidade de aprender a respeito e gerenciar sistemas complexos as ferramentas precisam ser capazes de capturar as realimentações, atrasos de tempo e outras fontes de complexidade dinâmica. Precisam possibilitar o entendimento de como estas estruturas criam a dinâmica do sistema e geram resistências às políticas lançadas. Elas devem ajudar a avaliar as consequências de novas políticas e estruturas que se queira projetar.

O Diagrama de Enlace Causal é uma das ferramentas de sistemas dinâmicos. Ele é uma importante ferramenta para representar a estrutura de realimentações dos sistemas, podendo ser usado para: capturar hipóteses sobre causas de dinâmicas, deduzir modelos mentais de indivíduos ou de equipes, comunicar importantes realimentações suspeitas de gerar um problema.

O Diagrama de Enlace Causal consiste de variáveis conectadas por setas denotando as influências causais entre elas. A cada ligação causal é atribuída uma polaridade positiva (+) ou negativa (-). Uma ligação causal positiva significa que se a causa cresce, o efeito cresce e do mesmo modo se a causa decresce o efeito decresce. Uma ligação causal negativa significa que se a causa cresce o efeito decresce e do mesmo modo, se a causa decresce o efeito cresce. A Figura 3 apresenta um exemplo desta notação.

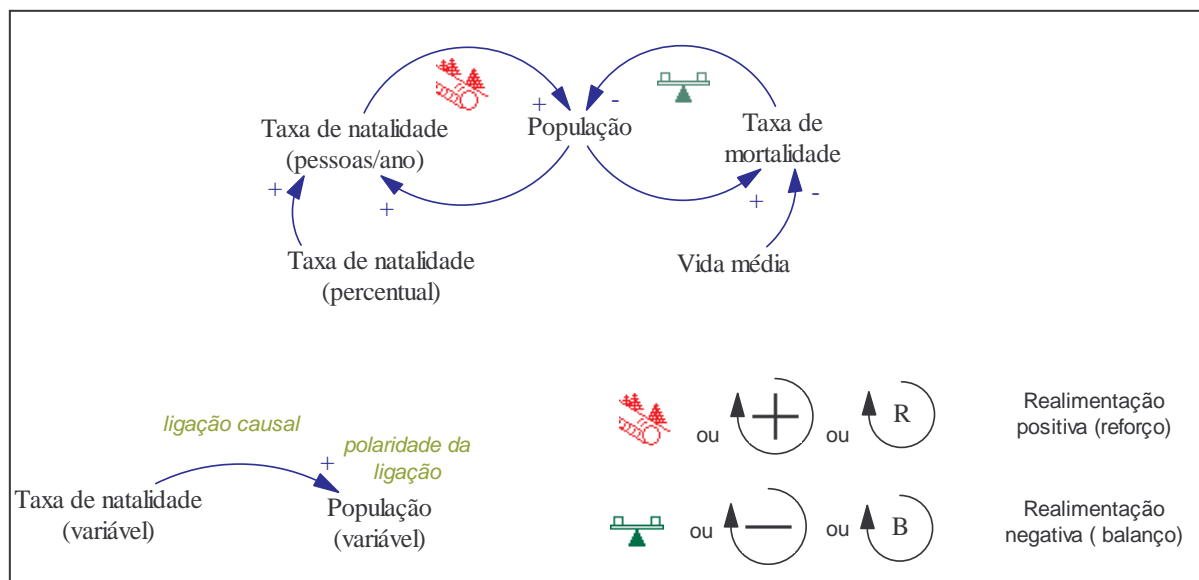


Figura 3. Notação do Diagrama de Enlace Causal

Fonte : Sterman (2000)

## 2.5 Feedback

Existem apenas dois tipos de malhas de realimentação (*feedback*): positiva (auto-reforçadora) e negativa (auto-corretora). As malhas positivas tendem a reforçar ou amplificar o que quer que esteja acontecendo no sistema. As malhas negativas agem contrariamente e se opõem às mudanças criando balanço e equilíbrio (STERMAN, 2001). A notação das realimentações no Diagrama de Enlace Causal é indicada na Figura 3.

Muito da arte da modelagem da Dinâmica de Sistemas é relativo a descobrir e representar as realimentações dos processos, que em conjunto com as estruturas de estoque e fluxo, atrasos no tempo e não linearidades determinam a dinâmica do sistema (STERMAN, 2000).

### 3. Estudo de caso da empresa Beta

Este artigo apresenta um estudo de caso do Departamento Logístico de uma empresa multinacional do setor elétrico, situada no estado de São Paulo, aqui denominada de Beta.

Este departamento se deparava com dois problemas cujas atenções eram consideradas prioritárias. O primeiro era diminuir as interrupções e confusões geradas no processo de tratamento do pedido pelas retiradas pelos clientes dos produtos vendidos. O segundo era diminuir o número de pedidos considerados urgentes. A fim de não impactar nas atividades do dia a dia, a empresa decidiu tratar um problema por vez, começando pelo primeiro citado.

A Beta faz a distribuição de seus produtos através de um Centro de Distribuição – CD e normalmente utiliza transportadoras que ela mesma contrata – este é o procedimento padrão. Entretanto, em certos casos o cliente opta por ele mesmo retirar o produto comprado, o que em grande parte das vezes causa interrupções e gera confusão na rotina de trabalho do CD. O mais comum é que as perturbações sejam causadas porque os agentes enviados pelos clientes: não possuem a documentação correta; não atendem aos horários estabelecidos para fazer esse tipo de atividade; em casos extremos não possuem nenhuma documentação da retirada que devem efetuar. Cada vez que um desses problemas ocorre, a rotina normal de trabalho é interrompida e a perturbação pode se refletir nas atividades de *picking*, embalagem, faturamento, expedição.

Como a tendência é de que o problema aumente, a empresa Beta resolveu criar uma equipe de trabalho para iniciar um projeto de melhoria para analisar o problema e implementar políticas e ações.

Em um primeiro momento a empresa Beta, seguindo um padrão ainda bastante comum nas organizações, o de “comando e controle”, elaborou uma norma que os agentes enviados pelos clientes para retirada de mercadoria devem obedecer: horários estabelecidos, locais de espera, documentos necessários. Essa é uma visão exógena: o causador do problema é externo.

Logo após, foi sugerida à empresa Beta que tratasse o problema segundo uma abordagem sistêmica e um trabalho aplicando a Dinâmica de Sistemas foi realizado com a equipe de trabalho e os autores deste artigo. O objetivo era buscar causas endógenas para o problema.

### 4. Metodologia

O trabalho foi realizado seguindo os passos:

#### a) Definição do problema

Este primeiro passo teve como objetivo definir claramente o problema. Quando a definição do problema é bem realizada, os limites do modelo tornam-se mais evidentes, escolhe-se mais facilmente os elementos que vão ou não pertencer ao modelo.

#### b) Levantamento da evolução do problema ao longo do tempo

Neste passo o comportamento da variável que demonstra o que é considerado o problema foi levantado. Este gráfico da variável ao longo do tempo é denominado de “Modo de Referência”. O Modo de Referência é importante, pois futuramente ele indicará a eficácia ou não das ações tomadas. A definição do período de tempo que será considerado dependerá do próprio problema que se quer analisar: o período escolhido deverá “fazer sentido” para a análise.

#### c) Construção do Diagrama de Enlace Causal inicial

Neste ponto os autores deste artigo elaboraram um Diagrama de Enlace Causal inicial. Este

diagrama não teve como objetivo apresentar um modelo pronto para a empresa Beta, mas sim, servir de base para iniciar a discussão em grupo.

d) Refinamento do Diagrama de Enlace Causal

O processo de modelagem é iterativo: o diagrama inicial foi submetido a mudanças gerando um segundo; este outro, por sua vez foi mais uma vez alterado e resgatou alguns relacionamentos existentes no diagrama inicial. O importante é que a cada alteração o modelo torne-se mais próximo da realidade.

e) Elaboração de nova política operacional

Uma vez que o modelo é considerado como finalizado ele servirá de base para a definição de novas políticas operacionais que tragam benefícios sustentáveis.

## 5. Resultados Obtidos

a) Definição do problema

O problema foi declarado como sendo a “Retirada de produtos vendidos pelos próprios clientes ou seus agentes”.

b) Levantamento da evolução do problema ao longo do tempo

Inicialmente a empresa Beta apresentou um levantamento do número de ocorrências mensais de retiradas de produtos pelos clientes no período de jul/2005 a fev/2006, conforme Gráfico 1. Por esse gráfico, entretanto, tem-se a impressão que as retiradas apresentaram um crescimento a partir de set/2005 e passaram a declinar a partir de dez/2005. Foi então solicitado um segundo levantamento dos dados que cobrisse um período maior. Neste outro gráfico, cobrindo o período de mar/04 a mar/06 já se percebe claramente a tendência de aumento das retiradas pelos clientes, confirmando o relato do problema pelos funcionários da empresa Beta. Os valores estão apresentados no Gráfico 2.

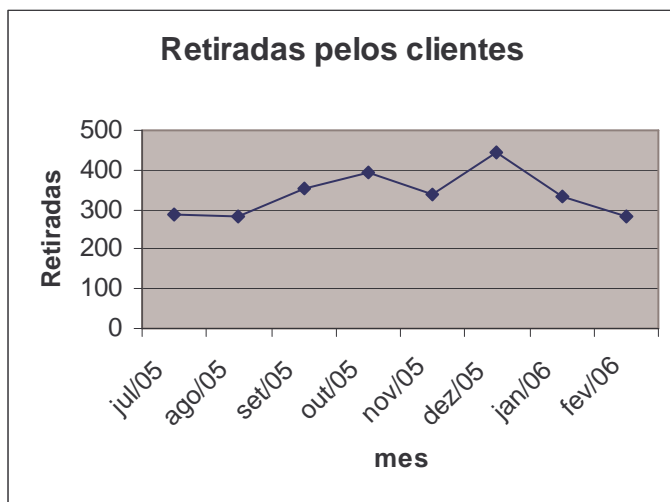


Gráfico 1: Evolução das retiradas pelos clientes da empresa Beta de jul/05 a fev/06

Fonte: Empresa Beta.





Gráfico 2: Evolução das retiradas pelos clientes da empresa Beta de mar/04 a mar/06  
Fonte: Empresa Beta.

#### c) Construção do Diagrama de Enlace Causal inicial

Baseados no relato do problema um Diagrama de Enlace Causal inicial foi sugerido, conforme a Figura 4. A variável “Cliente retira” foi colocada numa posição central. À esquerda foram posicionadas algumas variáveis que poderiam ser causas exógenas da retirada pelo cliente. À direita foi representado um efeito dessa retirada: quanto mais o cliente retira, maior é a interrupção do processo de expedição, que aumenta o tempo de expedição pela Beta. E quanto maior é o tempo de expedição pela Beta, passado um certo tempo (o *delay* é representado pelas duas linhas paralelas que cortam a seta), mais o cliente retira. Neste ponto se fechou uma malha de realimentação positiva: o aumento da variável “Cliente retira” realimentou nela mesma positivamente. Foi também identificado o aumento do custo do processo de expedição em decorrência da interrupção do processo de expedição.

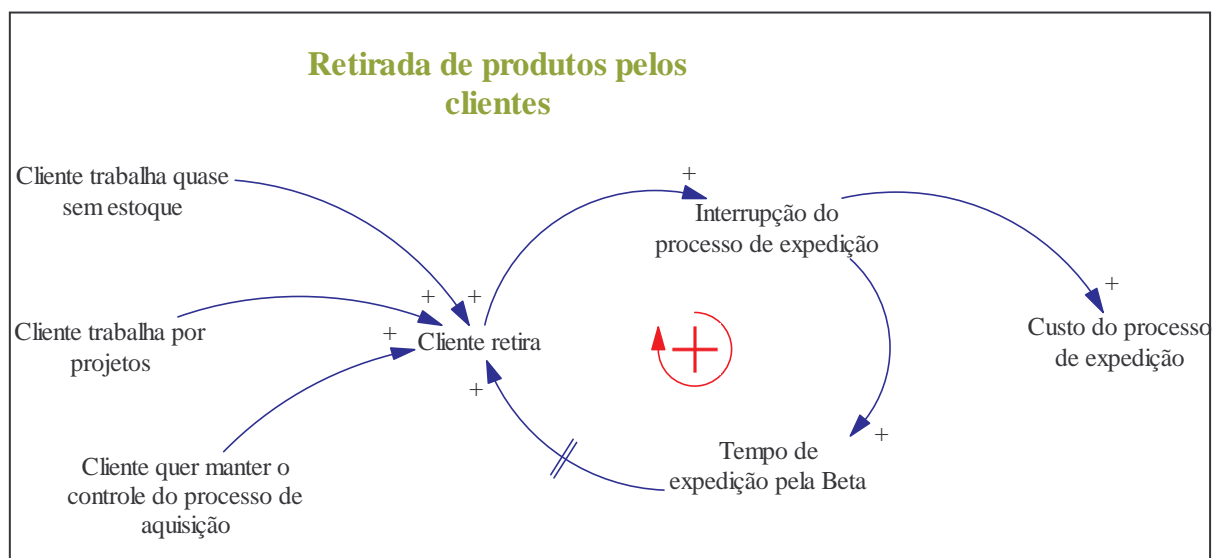


Figura 4: Diagrama de Enlace Causal inicial mapeando o problema da retirada de produtos pelos clientes

#### d) Refinamento do Diagrama de Enlace Causal

Após o Diagrama de Enlace Causal inicial ter sido proposto à equipe da Beta, as críticas a respeito dos relacionamentos de algumas variáveis começaram a surgir.

A principal delas foi que a equipe não estava de acordo com a malha de realimentação que fora representada no diagrama. Para a equipe da Beta, se aumentasse o tempo de expedição pela Beta, os clientes deixariam de comprar e procurariam um outro fornecedor. Não haveria portanto o fechamento da malha demonstrado no diagrama.

Mais adiante, já com o diagrama mais elaborado identificou-se que se o tempo de expedição pela Beta aumenta, diminui o Nível de Serviço, que diminui a satisfação do cliente e aumenta a perda do cliente. Se aumenta a perda do cliente, aumenta o esforço para a recuperação do cliente, que leva a um aumento das “Vendas Urgentes”, fechando uma malha positiva. E para surpresa de todos, “Vendas Urgentes” era o problema central do próximo projeto de melhoria. Ficou assim identificado que existia um inter-relacionamento entre os dois problemas.

Ao final do processo de refinamento a versão alterada apresentou-se conforme a Figura 5.

e) Elaboração de nova política operacional.

A nova política operacional encontra-se atualmente em fase de elaboração pela empresa Beta.

## 6. Conclusões

A visão sistêmica e a utilização de ferramentas da Dinâmica de Sistemas levaram a equipe

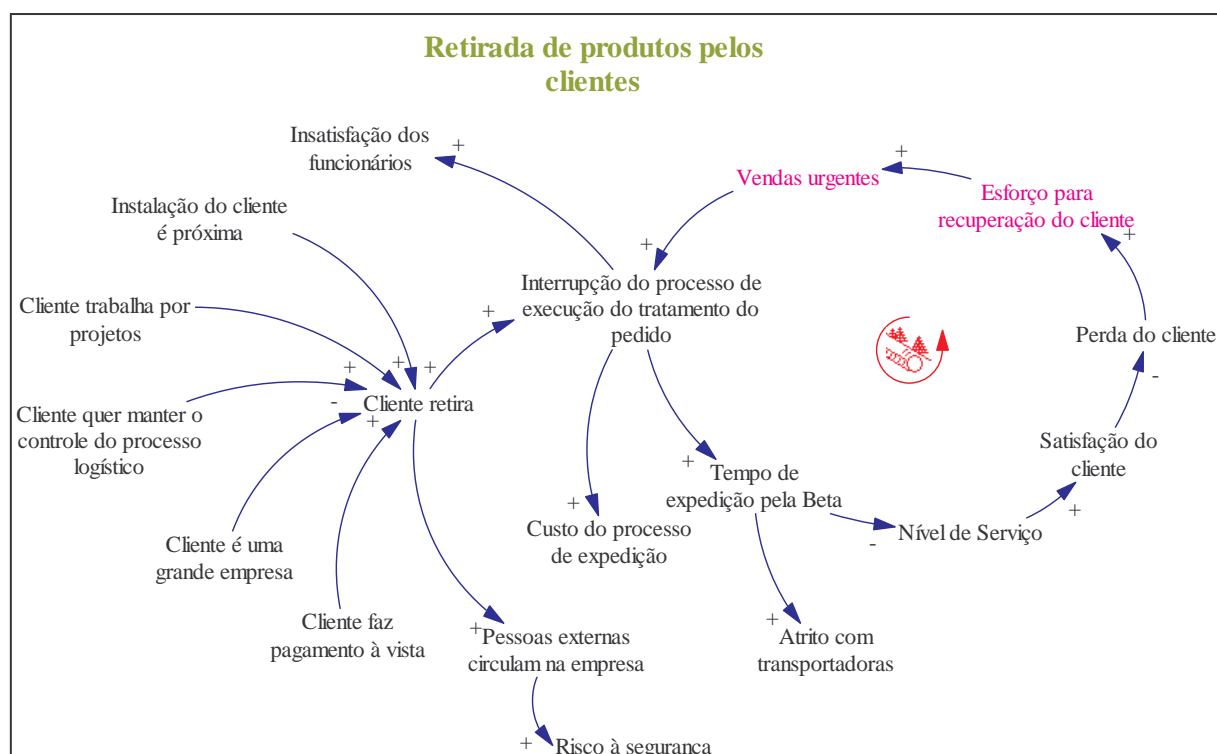


Figura 5: Diagrama de Enlace Causal final mapeando o problema da retirada de produtos pelos clientes

da Beta a uma mudança nas crenças que possuíam a respeito das relações de causa e efeito no problema da “Retirada de produtos vendidos pelos próprios clientes ou seus agentes”.

De início, ao se deparar com a necessidade de resolver o problema e seguindo uma visão tradicional que a causa é sempre externa ao sistema, a empresa elaborou uma norma que os clientes deveriam obedecer para a retirada dos produtos (horários, locais, documentos).

Com o desenvolvimento do Diagrama de Enlace Causal a equipe aprofundou e ampliou sua visão a respeito do problema, compartilhou o aprendizado sobre as variáveis importantes que



gravitam em torno da questão e como são os seus relacionamentos. Percebeu que uma parte deste problema é causada pela estrutura e ações internas à empresa.

As novas políticas para o problema estão sendo elaboradas e se espera um maior consenso na sua elaboração. Espera-se também maior comprometimento da equipe com as ações a serem tomadas, uma vez que ela mesma desenvolveu o modelo e está sugerindo as mudanças.

Outro ponto interessante foi que o Diagrama de Enlace Causal identificou que existe um inter-relacionamento entre o problema da retirada de produtos pelos clientes com o outro problema que deverá em seguida ser tratado pela Beta, o das “Vendas Urgentes”. Portanto, as políticas lançadas para o primeiro problema devem levar em consideração o segundo e vice-versa.

## Referências

**FORRESTER, J.W.** *Industrial Dynamics*. Cambridge: The MIT Press, 1961.

**MORECROFT, J.D.W.** *Executive Knowledge, Models, and Learning*. In: MORECROFT, J.D.W, STERMAN, J.D. *Modeling for Learning Organizations*. Portland: Productivity Press, 1994.

**SENGE, P.M.** *A Quinta Disciplina*. São Paulo: Nova Cultural, 1990.

**STERMAN, J. D.** *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. New York: Irwin/McGraw-Hill, 2000.

\_\_\_\_\_. *System Dynamics Modeling: Tools for Learning in a Complex World*. California Management Review. Vol.43, n.4, summer 2001.