

Modelo Matemático - Manufatura Aditiva

Pedro Nascimento de Lima

November 19, 2017

A Indústria da Manufatura Aditiva

Modelos de Difusão de Novos Produtos

Falar sobre cada modelo e mostrar o Quadro da análise dos modelos

Modelo empregado neste Trabalho

Esta seção do trabalho apresenta o modelo de equações diferenciais utilizado para simular o comportamento da indústria da manufatura aditiva.

Difusão e Demanda por Impressoras 3D.

Visão Geral do Modelo

O modelo proposto inicialmente por Sterman (XX) foi utilizado como ponto de partida deste trabalho, por possuir uma série de características desejáveis para este trabalho. Em primeiro lugar, o modelo não é restrito a monopólios, como o modelo de Bass (XX) e outros modelos deste trabalho (identificar e citar aqui). Além disso, o modelo possui uma estrutura de dinâmica competitiva considerando a interação de diversos fatores presentes na Indústria da Manufatura Aditiva, incluindo curvas de aprendizagens, diferentes players expandindo sua capacidade produtiva em função da demanda prospectada no mercado.

Diagrama de Fronteira do Modelo

A Figura (XX) ilustra os módulos do modelo e suas principais relações. Esta seção introduzirá as principais características do modelo, e argumentará sua relação com a indústria da manufatura aditiva. Além disto, a seção definirá as principais relações existentes entre os módulos e justificará a decisão pela inclusão de cada um destes módulos no modelo. Em seguida, a formulação matemática de cada um dos módulos será detalhada. Finalmente, esta seção também sintetizará as modificações empregadas no modelo original de Sterman (xx), justificando tais alterações.

{Porque usar o modelo do Sterman.} O Modelo proposto inicialmente por Sterman (XX) compreende um conjunto de características que o tornam apropriado para servir como ponto de partida deste trabalho. Em primeiro lugar, o modelo apresenta

{Características Básicas do Modelo} Uma primeira característica importante para a compreensão do modelo é a escolha pela vetorização da maioria de seus módulos em diferentes players produtores de impressoras 3D. Esta característica torna o modelo útil para a avaliação da decisão estratégica de e um player específico, e permite a consideração de decisões estratégicas de outros players sobre o resultado da estratégia da própria empresa. Este aspecto é relevante para a representação da indústria da manufatura aditiva, visto que a adição de capacidade por outros players, e decisões relacionadas à sua precificação tendem à influenciar a decisão da empresa.

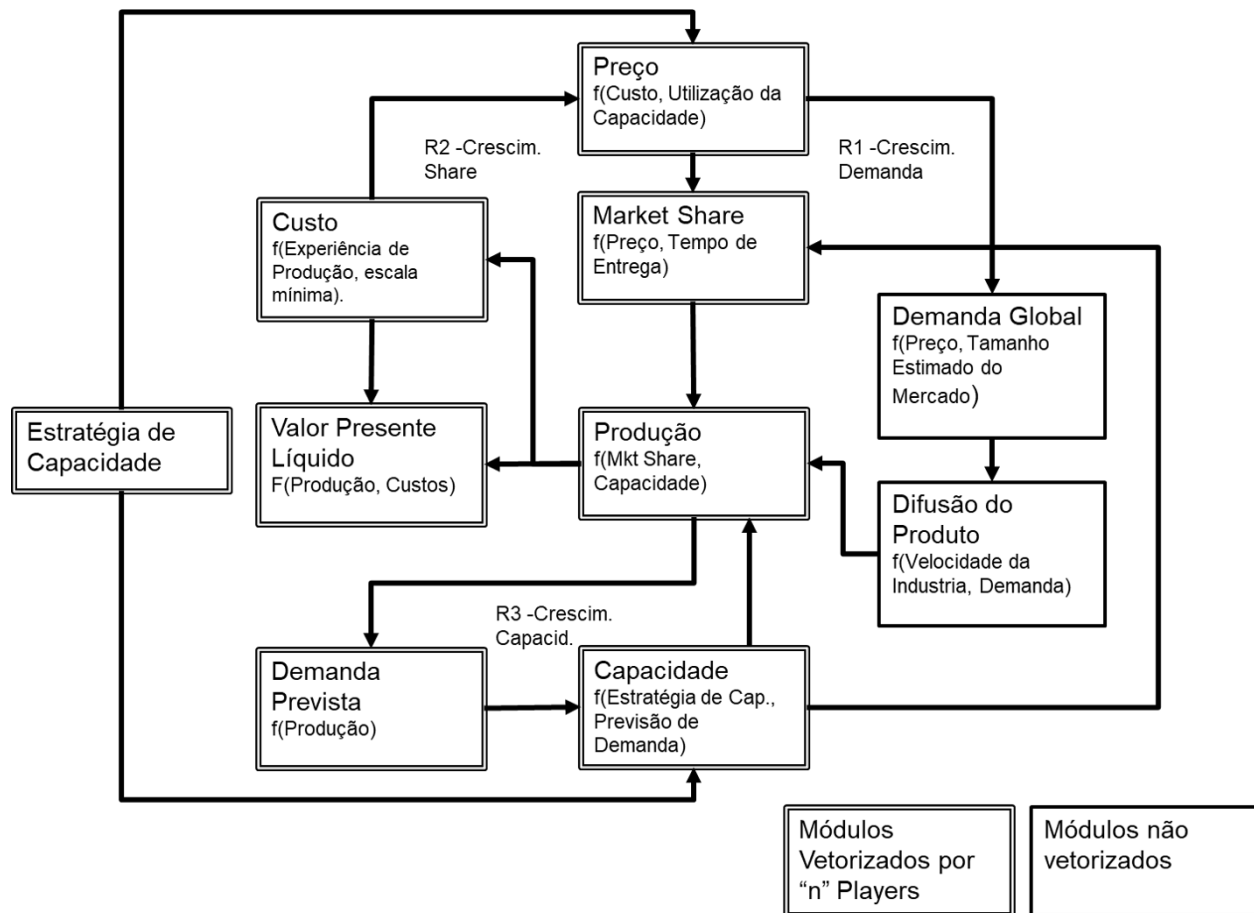


Figure 1: Modelo de Dinâmica Competitiva - Diagrama de Fronteiras

Um segundo aspecto importante para a compreensão do modelo é que o mesmo ocupa-se de decisões estratégicas relacionadas à capacidade produtiva da empresa. Em específico, o modelo ocupa-se de analisar estratégias de crescimento de capacidade agressivas versus conservadoras. (ex.: O player busca maximizar sua receita apropriando-se de um alto nível de market-share por meio de estratégias de crescimento agressivas). Para o tema da indústria de impressão 3D, esta decisão pode ser considerada adequada, considerando o tamanho do investimento necessário para a impressão 3D. Pode parecer, a princípio, que uma estratégia robusta seja criar expectativas modestas para uma indústria ainda em ascensão, e crescer o investimento apenas após uma demonstração clara de crescimento...

{Alterações necessárias no Modelo de Sterman} - Questão: Market Share é apenas dividido por preço e delay na entrega, enquanto a performance do produto não parece ser considerada; - Solução: Criar setor de investimento em P&D influenciando a performance do produto juntamente com a experiência de produção;

- Questão: Estratégia de crescimento é “Conservadora” ou “Agressiva”, e não possui opção adaptativa;
- Solução: Avaliar primeiro as duas estratégias na primeira rodada do modelo e em seguida adicionar uma estratégia adaptativa (provavelmente a agressiva no início e conservadora no final).

Uma vez que é possível simular cenários onde as demais empresas implementam estratégias similares ou

No modelo proposto por Sterman (XX) dois players, inicialmente com a mesma capacidade produtiva, iniciam vendendo produtos a um mercado em expansão.

Demanda

A demanda Total da indústria anual D^T é formada pela soma de dois tipos de demanda. A demanda inicial D^I dos produtos (ou seja, à primeira compra realizada por um usuário da impressora 3D), e à demanda oriúnda de recompras D^R , realizadas em função do fim da vida útil do equipamento.

$$D^T = D^I + D^R$$

A demanda inicial é calculada D^I em função do número médio de unidades vendidas por clientes μ e do número de clientes dA que adotou o produto em um intervalo de tempo dt :

$$D^I = \mu \frac{dA}{dt}$$

O crescimento do número de clientes A que aderiram às impressoras 3D em um dado instante de tempo t é um estoque modelado por meio do modelo padrão de difusão de Bass (XXXX). Neste modelo o crescimento da população de clientes que aderem à uma ideia é dependente do tamanho total da população POP , do número de clientes que não adotaram N , da fração de inovadores que adotam ao produto ano a ano independentemente de outros usuários α e do parâmetro β que mede a força da difusão do produto por boca-a-boca. A não-negatividade da equação é garantida obtendo-se o máximo entre a equação e zero. Além disto, o valor inicial do número de clientes A_{t_0} é calibrado a partir do número.....

$$A_t = A_{t_0} + \int_{t_0}^t MAX \left(0, N \left(\alpha + \beta \frac{A}{POP} \right) \right); A_{t_0} = \theta A^*$$

O número de consumidores potenciais N é modelado como o máximo entre zero e a diferença entre o número de clientes que irá adotar o produto em algum momento A^* e o número de clientes que adotou o produto A .

$$N = MAX(0, A^* - A)$$

O número de clientes que irá adotar o produto A^* é calculado segundo uma curva de demanda linear, variando em função do menor preço encontrado no mercado P^{min} , e da inclinação da curva de demanda σ , que corresponde à $(A^* - POP^r)/(P^{min} - P^r)$. Para a calibração da curva de preço e demanda, um preço de referência P^r e uma demanda de referência POP^r . Além disto, a demanda nunca será maior do que a população total POP , nem menor do que 0.

$$A^* = MIN \left(POP, POP^r * MAX \left(0, 1 + \frac{\sigma(P^{min} - P^r)}{POP^r} \right) \right)$$

A inclinação da curva de demanda σ , por sua vez, é calculada em função da população de referência POP^r , do preço de referência P^r e da elasticidade da curva de demanda ε_d .

$$\sigma = -\varepsilon_d \left(\frac{POP^r}{P^r} \right)$$

A demanda oriúnda da necessidade de substituição dos produtos depende do número de impressoras 3D já vendidos pela empresa I_i , e de uma taxa percentual de descarte de impressoras δ . Esta taxa percentual de descarte de impressoras corresponde ao inverso da vida útil média das impressoras vendidas. O modelo pressupõe que impressoras descartadas pelo fim da sua vida útil são

$$D^r = \sum_i D_i; D_i = \delta I_i$$

Installed Base:

$$I_{i,t} = I_{i,t_0} + \int_{t_0}^t S_{i,t} - D_{i,t}$$

Market Share

Orders:

$$O_i = S_i D^T$$

Share:

$$S_i = A_i / \sum_i A_i$$

Atratividade: - Aqui deve entrar também a performance do produto. Standard Logit decision model

$$A_i = e^{\varepsilon_p \frac{P_i}{P^k}} * e^{\varepsilon_a (\frac{B_i}{S_i}) / \tau^r}$$

A Firma

O lucro líquido a valor presente π_t da firma i é definido como um estoque calculado em função das receitas e custos da empresa, trazidos a valor presente por um fator ρ . As receita líquida da empresa é calculada a partir do número de produtos entregues s_i pela empresa i e da diferença entre o preço médio dos produtos entregues \bar{p}_i , e do seu respectivo custo variável unitário vc_i . Os custos fixos da empresa são calculados a partir da sua capacidade C_i e de um custo fixo unitário fc_i . Desta maneira, o lucro líquido da empresa no tempo t será dado conforme esta equação:

$$\pi_t = \int_{t_0}^t [R_i - (C_i^f + C_i^v)] * e^{-\rho * t}$$

Receita:

$$R_i = S_i * (V_i / B_i)$$

Valor da Carteira de Vendas:

$$V_{i,t} = V_{i,t_0} + \int_{t_0}^t P_{i,t} * O_{i,t} - R_{i,t}$$

Custos:

$$C_i^f = u_i^f * K_i ; C_i^v = u_i^v * S_i$$

Custos Variáveis e Fixos decrescem conforme uma curva de experiência Standard learning curve:

$$u_i^f = u_0^f (E/E_0)^\gamma ; u_i^v = u_0^v (E/E_0)^\gamma$$

Esta formlua pressupõe que não há troca de experiência entre os players, e que não há “perda de experiência”.

$$E_{i,t} = E_{i,t_0} + \int_{t_0}^t S_i$$

Produção

Shipmentso é igual à Produção é igual a shipments, desprezando estoques na cadeia produtiva.

$$Q_i = MIN(Q_i^*, K_i); S_i = Q_i$$

Considera-se um sistema Make to Order, não considera estoques na cadeia. Para eles, o estoque na cadeia introduziria um efeito chicote ainda pior para a estratégia Get big fast, e por isso foi possível desconsidera-lo.

Neste ponto será necessário tomar uma decisão se este aspecto é importante para as estratégias consideradas ou não.

Delivery Delay:

$$\tau_i = B_i * Q_i$$

“Target Ship Rate:”

$$Q_i^* = B/\tau_i^*$$

Backlog de Produção:

$$B_{i,t} = B_{i,t0} + \int_{t_0}^t O_i - Q_i$$

Capacidade: Ajusta-se conforme uma função Erlang Lag de terceira ordem.

Este é o operador φ Erlang Lag.

$$K_i = \varphi(K^*, \lambda)$$

Capacidade Alvo e Previsão da Demanda A capacidade Alvo da Empresa K^* market share alvo S^* previsão da demanda D^* taxa de utilização de capacidade u^*

$$K^* = MAX(K^{min}, S^* D^e / u^*)$$

mínima escala de produção eficiente K^{min} .

Demanda Prevista (Demanda Esperada) D^e : Demanda Observada-Reportada D^r Anos de Previsão λ Taxa esperada de crescimento da demanda g^e

$$D^e = D^r * e^{\lambda * g^e}$$

Taxa de crescimento da demanda:

Horizonte Histórico usado para a previsão h Demanda Observada-Reportada D^r

$$g^e = \ln(D_t^r / D_t^r - h) / h$$

Demanda Observada-Reportada D^r - Segue um suavização exponencial:

$$dD^r / dt = (D^T - D^r) / \tau^r$$

Market Share Alvo e Estratégia da Firma:

$$S^* = \begin{cases} MAX(S_i^{min}, S_i^u), & \text{if } Str_i = Agress. \\ MIN(S_i^{max}, S_i^u), & \text{if } Str_i = Conserv. \end{cases}$$

Se a firma busca uma estratégia agressiva, a mesma busca um share dominante do mercado. Uma estratégia conservadora, por outro lado, busca acomodação entre seus rivais, e define um market share modesto.

A empresa agressiva também busca explorar sua vantagem aproveitando-se da demora dos outros players ainda aumentando seu share quando ela identifica que haverá demanda não atendida pelos outros players.

Market Share “Não-Disputado”:

$$S_i^u = MAX(0, D_i^u / D^e)$$

Demanda não contestada:

$$D_i^u = D^e - u^* \sum_{j \neq i} K_j^e$$

Capacidade dos competidores esperada:

$$K_j^e = w K_j^{e*} + (1 - w) K_j$$

Calculo da Capacidade com defasagem - segue uma suavização exponencial:

$$dK_j^{e*} / dt = (K_j^* - K_j^{e*}) / \tau^c$$

Preço: Preço também ajusta-se a um valor alvo com delay e tempo de ajuste.

$$dP_i / dt = (P_i^* - P_i) / \tau^p$$

Equação do Preço Alvo:

$$P^* = MAX \left[u^v, P \left(1 + \alpha^c \left(\frac{P^c}{P} - 1 \right) \right) \left(1 + \alpha^d \left(\frac{Q^*}{u^* K} - 1 \right) \right) \left(1 + \alpha^s (S^* - S) \right) \right]$$

Parâmetros, Unidades Valores Máximos e Mínimos:

$$P^C = (1 + m^*)(u_i^f + u_i^f)$$