CAPÍTULO 5
CONCEITOS BÁSICOS DE TEORIA DOS JOGOS E MEDIDAS DE CONCENTRAÇÃO DE MERCADO

5.1 INTRODUÇÃO

A Teoria dos Jogos é o instrumento natural para a avaliação de poder de mercado em ambientes competitivos. Este capítulo apresenta um resumo dos conceitos básicos desta teoria. São apresentados também três exemplos da aplicação desses conceitos em sistemas elétricos simples.

Posteriormente, serão definidas algumas medidas de concentração de mercado também utilizadas para avaliação de poder de mercado.

5.2 TEORIA DOS JOGOS

5.2.1 CONCEITOS BÁSICOS

O principal objetivo da Teoria dos Jogos é analisar situações onde agentes (jogadores) tomam decisões como reação às ações de outros agentes.

Seja um jogo a representação formal de uma situação onde jogadores interagem sob um conjunto de estratégias interdependentes. Esta representação normalmente contém a descrição dos participantes (i=1,..., I), das regras, das realizações, e dos resultados (função utilidade), $U_i(.)$. Conhecendo o jogo, cada agente adota estratégias (E^i, plano de decisão que especifica como um jogador irá agir sempre que for chamado a jogar) a fim de maximizar sua função utilidade.

Um jogo é dito simultâneo quando os agentes adotam estratégias sem conhecer as estratégias escolhidas pelos outros agentes. Um jogo é chamado seqüencial quando algumas estratégias são escolhidas com base no conhecimento do movimento de outros jogadores.

A Teoria dos Jogos pode ser simplificadamente dividida em: jogos não-cooperativos (competitivos) e jogos cooperativos (coalizacionais). Nos jogos não-cooperativos, cada jogador toma decisões buscando maximizar seus ganhos independentemente dos resultados dos outros jogadores. Já nos jogos cooperativos, as estratégias dos participantes são coordenadas de tal forma a atingir o melhor resultado para o grupo como um todo.

Apesar de trabalhos anteriores que hoje podem ser considerados incluídos na bibliografia completa da Teoria dos Jogos, a concepção formal desta teoria como parte fundamental da teoria econômica foi inicialmente estabelecida por J.Von Neumann e O.Morgenstern em 1944 [45]. Este trabalho introduziu o conceito de estratégias puras e mistas. Se um jogador utiliza uma estratégia que não faz uso algum de decisões baseadas em aleatoriedade, então se diz que este jogador utiliza uma estratégia pura. A escolha de ações com o uso de aleatoriedade define a estratégia do jogador como uma estratégia mista. Em uma estratégia mista, as probabilidades são conhecidas pelo jogador e este define suas ações baseadas nestas probabilidades.

5.2.2 EQUILÍBRIO DE NASH

Em 1950, John Nash introduziu o conceito de "Equilibro de Nash", em torno do qual se formou a base da Teoria do Jogos [46]. Um Equilíbrio de Nash acontece se é escolhido pelo conjunto de jogadores um conjunto de estratégias tal que, para cada jogador i, dadas as estratégias dos outros jogadores, i não tem incentivo para mudar sua estratégia.

O equilíbrio de Nash é o resultado de um jogo simultâneo assumindo total conhecimento dos agentes sobre o jogo e racionalidade mútua. Corresponde ao conjunto de estratégias adotadas pelos jogadores, que são as melhores respostas em relação às melhores estratégias dos outros jogadores.

Desta forma, um conjunto de estratégias $E = (E^1, E^2..., E^I)$ constitui um equilíbrio de Nash do jogo $G = [I, E^i, U_i(.)]$ se para todo jogador $i = 1, ..., I$:

$$U_i(E^i,E^{-i}) \geq U_i(E^{i'},E^{-i}) \quad \forall\ E^{i'} \in E^i \qquad (5.1)$$

onde:

E^{-i} – São as estratégias (melhores respostas) dos outros jogadores; e

$E^{i'}$ – Conjunto das estratégias do jogador i, excluindo-se E^i.

Deve-se ressaltar que Equilíbrios de Nash não são necessariamente desejáveis, no sentido de que podem não ser um resultado que possibilita aos jogadores um resultado favorável.

Se um jogo tem apenas um equilíbrio estável (Equilíbrio de Nash), então a teoria do jogos estabelece que esta é a solução do jogo (resultado que é obtido quando apenas jogadores experientes participam). O argumento é que jogadores experientes de alguma forma conseguem encontrar o caminho para o equilíbrio.

Por outro lado, há jogos que têm vários Equilíbrios de Nash. Neste caso, a teoria do jogos não faz nenhuma previsão sobre a solução. Há casos especiais, e.g., se em um equilíbrio todos os jogadores têm um resultado melhor do que em qualquer outro equilíbrio, então este é previsto como a solução do jogo. Entretanto, em muitos jogos os jogadores discordariam eternamente sobre qual é o equilíbrio preferido, e, neste caso, a teria dos jogos não faz nenhuma previsão sobre o resultado.

Outra possibilidade seria que o jogo não tivesse nenhum Equilíbrio de Nash para estratégias puras. Entretanto, Nash prova que todo jogo finito têm pelo menos um equilíbrio [46]. Um jogo finito é definido como tendo um número finito de jogadores, onde cada jogador têm um número finito de estratégias puras.

5.2.3 MODELO DE COURNOT

Cournot publicou a sua teoria sobre competição oligopolista em 1830, e somente recentemente ela foi interpretada como um jogo estratégico e uma previsão do Equilíbrio de Nash [47]. O ponto crucial do Modelo de Cournot é que cada produtor, quando escolhendo a quantidade produzida (estratégia), assume que todos os outros produtores já fixaram os seus níveis de produção, independentemente do preço. A quantidade escolhida por cada produtor afeta o preço através de uma função inversa de demanda. No equilíbrio, cada produtor produz uma quantidade que maximiza o seu lucro, dada a quantidade produzida por cada um dos outros produtores, e nenhum produtor têm o interesse de alterar unilateralmente a sua produção. Isto é conhecido como o Equilíbrio de Cournot-Nash.

Na prática, se todos os produtores definem preços e acreditam que todos os outros definem quantidades, o mercado também atinge o equilíbrio [47]. Esta segunda interpretação é muitas vezes utilizada para simplificar os cálculos.

No contexto de um mercado de energia elétrica o Modelo de Cournot é uma alternativa. Um outro conceito de equilíbrio não-cooperativo, o Equilíbrio de Bertrand, baseado na hipótese de que qualquer produtor poderia capturar todo o mercado estabelecendo preços inferiores aos de seus competidores e expandindo a produção para atender a demanda. Como nos mercados de energia elétrica estão presentes grandes restrições associadas às capacidades de geração, esta não é uma hipótese válida. Entretanto, trabalhos anteriores mostram que se produtores escolhem suas capacidades e competem por preço, considerando a restrições de capacidade de geração, o resultado pode ser aproximado pelo Modelo de Cournot [47].

5.3 EXEMPLOS SIMPLES

Esta seção apresenta três exemplos simples para um mercado de energia elétrica encontrados em [48]. O primeiro apresenta uma competição de Cournot onde há apenas um Equilíbrio de Nash. No segundo exemplo é ilustrado o problema de múltiplos equilíbrios com a consideração de restrições de transmissão. Finalmente, é apresentado um exemplo onde não há equilíbrio para estratégias puras.

5.3.1 EXEMPLO DE EQUILÍBRIO COURNOT-NASH

Considere dois geradores, G1 e G2 com custos variáveis de operação de 20 \$/MWh e 40 \$/MWh, respectivamente. Estes geradores competem no suprimento de uma carga com a seguinte curva de demanda:

$$Q_D = 2.(100 - P)$$

onde:

Q_D quantidade demandada (MWh)

P preço (\$/MWh)

As funções de lucro dos geradores são:

$\pi_1 = P.Q_1 - 20.Q_1$

$\pi_2 = P.Q_2 - 40.Q_2$

onde:

Q_1 quantidade produzida por G1 (MWh)

Q_2 quantidade produzida por G2 (MWh)

Como o preço é dado por:

$P = 100 - (Q_1 + Q_2)/2$

então se pode escrever as funções de lucro em termos apenas das variáveis estratégicas Q_1 e Q_2:

$\pi_1 = [100 - (Q_1 + Q_2)/2].Q_1 - 20.Q_1$

$\pi_2 = [100 - (Q_1 + Q_2)/2].Q_2 - 40.Q_2$

Para maximizar os lucros, diferencia-se cada uma funções de lucro e iguala-se a zero, sendo neste ponto onde entram as hipóteses de Cournot. De acordo com o Modelo de Cournot quando se diferencia π_1 com respeito a Q_1, deve-se manter Q_2 constante, ou seja, calcula-se as derivadas parciais de π_1 com respeito a Q_1 e de π_2 com respeito a Q_2, e iguala-se a zero:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial \pi_1}{\partial Q_1} = 0 \\ \dfrac{\partial \pi_2}{\partial Q_2} = 0 \end{cases}$$

Estas são as condições para o Equilíbrio de Nash. A solução deste sistema de equações é única, dada por $Q_1^* = 66{,}67$ MWh e $Q_2^* = 26{,}67$ MWh. Isto implica em um preço de 53.3 \$/MWh, bastante maior que os custos variáveis dos geradores.

5.3.2 Competição de Cournot com Restrição de Transmissão

Para ilustrar o problema de múltiplos equilíbrios é introduzida uma restrição de transmissão no exemplo anterior. Considere que os dois geradores estão conectados em um lado de uma linha de transmissão com capacidade de

80MW, e que toda a demanda está localizada no outro lado da linha, como ilustra a Figura 5.1.

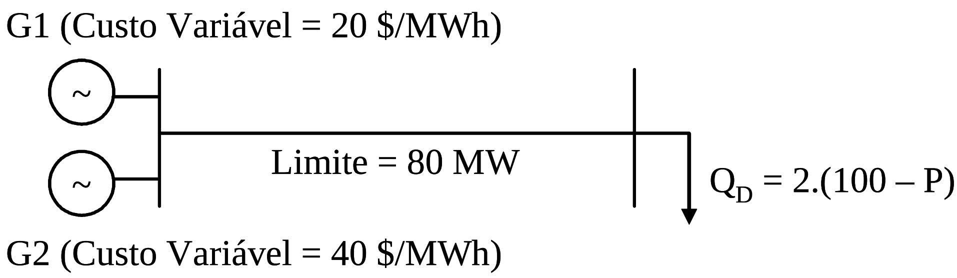

Figura 5.1 – Sistema com Restrição de Transmissão

A inclusão da restrição de transmissão torna a solução obtida no exemplo anterior inviável. A consideração desta restrição cria a necessidade de algum controle central, que por simplicidade será realizado por um operador independente do sistema (que no caso brasileiro é o ONS) utilizando um esquema de preços nodais.

Para construir um Modelo de Cournot para este exemplo, os geradores devem ofertar funções de suprimento que envolvam tanto quantidade quanto preço. A hipótese mais obvia sobre os preços ofertados são que estes são iguais aos custos variáveis de operação, ou seja, os geradores se recusam a gerar tendo prejuízo.

O operador do sistema avalia as ofertas dos geradores construindo uma curva de suprimento e determinando a interseção com a curva de demanda. A Figure 5.2 ilustra o equilíbrio em que as ofertas dos dois geradores são suficientes para utilizar 100% da capacidade da linha. O preço é determinado pela parte sem restrição da curva de demanda em 60 $/MWh.

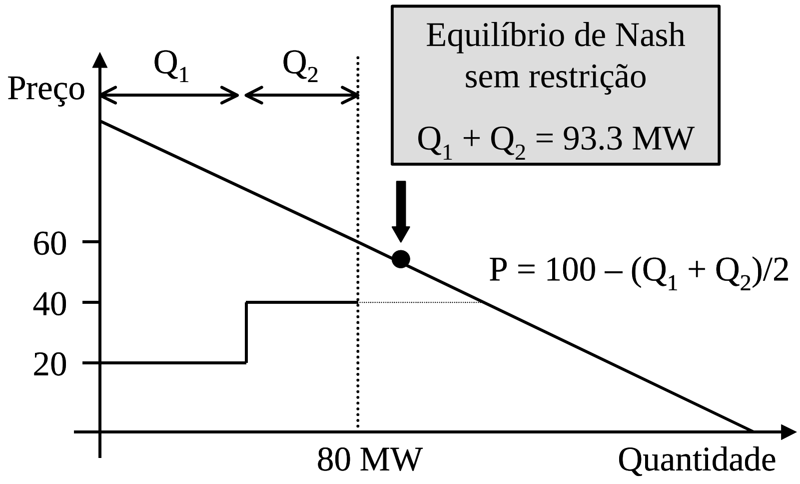

Figura 5.2 – Equilíbrio de Nash com Restrição

Note que se qualquer gerador aumentar sua oferta, por menor valor que seja, a linha ficará congestionada e o preço será 40 \$/MWh, dado pela interseção da parte com restrição da curva de demanda com a curva de suprimento.

Apesar de muitas vezes ser difícil encontrar um Equilíbrio de Nash, verificar se uma determinada estratégia é um equilíbrio é uma tarefa relativamente fácil. Observe que G1 desejará aumentar a sua produção ($d\pi_1/dQ_1 > 0$) sempre que $Q_1 < 2.(P – C_1)$, onde C_1 é o custo variável do gerador. Ou seja, se $Q_1 < 80$, G1 desejará aumentar sua produção, que é o caso do equilíbrio proposto. Entretanto, se G1 aumentar a sua produção haverá uma redução drástica no preço, logo, dada produção de G2, G1 está em um ponto de máximo lucro. A situação é idêntica para G2, com a única diferença que G2 desejará aumentar a sua produção enquanto $Q_2 < 40$. Desta forma, desde que $Q_2 < 40$, teremos um Equilíbrio de Nash.

Estes resultados indicam que existe uma infinidade de Equilíbrios de Nash, representados por todos os pares de estratégias caracterizados por $40 \leq Q_1 \leq 80$ e $Q_2 = 80 – Q_1$. Note que para todos esses equilíbrios o preço é igual a 60 \$/MWh.

O que torna este jogo tão ambíguo é que os dois geradores avaliam estes equilíbrios de forma contrária. Enquanto G1 prefere o equilíbrio em que $Q_1 = 80$, G2 prefere o equilíbrio em que $Q_1 = 40$.

É possível que depois de algum tempo os dois geradores concordassem em dividir os lucros, escolhendo um dos possíveis equilíbrios, entretanto, a teoria dos jogos não consegue prever que equilíbrio seria este.

5.3.3 SISTEMA DE TRÊS LINHAS DE TRANSMISSÃO

Neste exemplo os geradores estão localizados em duas barras conectadas através de uma linha de transmissão com capacidade de 5 MW, e as duas barras de geração estão conectadas à carga através de linhas da alta capacidade de transmissão, como ilustra a Figura 5.3.

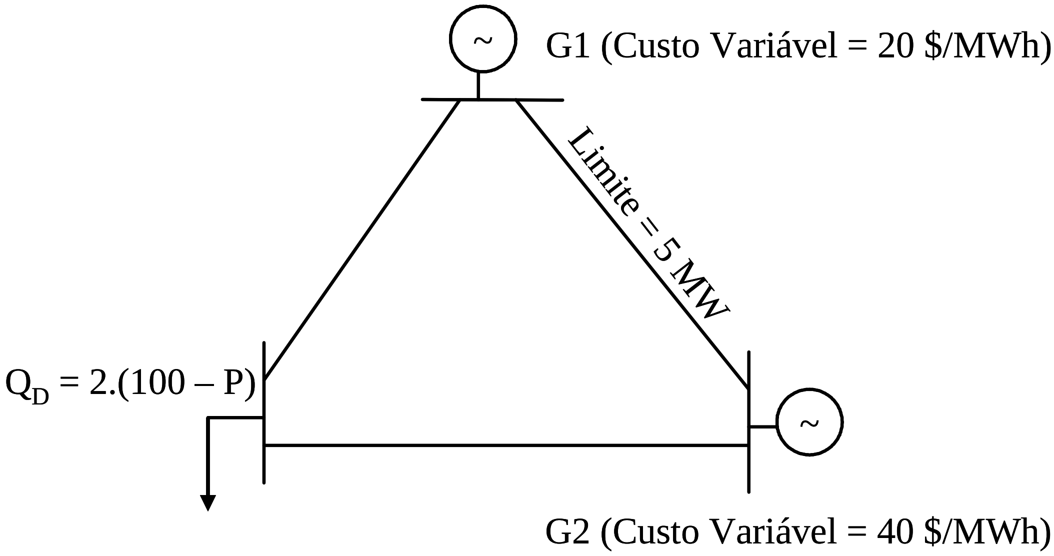

Figura 5.3 – Exemplo com Três Linhas

Para mostrar que neste exemplo não existe equilíbrio para estratégias puras, considere o equilíbrio proposto em [49]. Este trabalho afirma que este jogo tem um Equilíbrio de Nash em que a linha é utilizada até o limite de sua capacidade. Note que nesta rede simétrica isto implica em $Q_1 – Q_2 = 15$, já que G1 terá uma geração maior por ter um custo marginal menor. Lembre também que se as linhas não estão congestionadas, os preços nodais são iguais.

Se os geradores não considerassem o limite de transmissão, ambos ajustariam as suas ofertas para satisfazer as condições de Cournot-Nash, entretanto, isto causariam um congestionamento. Este congestionamento causaria uma redução do preço para G1, que unilateralmente reduziria a sua geração para eliminar o congestionamento. Assim isto deixaria para G2, a carga, e a restrição acima à definição do preço. Este é o equilíbrio proposto em [49]. Este trabalho alega que G2 maximiza o seu lucro escolhendo Q_2 = 35, o que induz Q_1 = 50, e um preço de 57,50 $/MWh.

O problema com esta proposta é que G2 pode causar um congestionamento na linha reduzindo a sua geração, e conseqüentemente aumentando o preço na sua barra. Este atitude é lucrativa inviabiliza o equilíbrio proposto em [49], já que pela definição do Equilíbrio de Nash, nenhum jogador pode aumentar seus lucros com uma mudança unilateral de estratégia.

Neste trabalho se considerou apenas um equilíbrio para estratégias puras, mas se esqueceu que não existe garantia na teoria dos jogos que este equilíbrio exista. Foi mostrado em [50] que este jogo tem um equilíbrio apenas se forem consideradas estratégias mistas.

Um sistema de 3 barras similar ao apresentado na Figura 3.3 foi analisado em [51]. Mostrou-se que para esse sistema também não existe um equilíbrio para estratégias puras quando restrições de transmissão são consideradas.

5.4 MEDIDAS DE CONCENTRAÇÃO DE MERCADO

Além da teoria dos jogos, algumas medidas de concentração de mercado podem ser utilizadas para avaliar poder de mercado. As medidas de concentração de mercado se dividem em dois grupos: as razões de concentração e os índices de concentração, sendo estas utilizadas por órgãos anti-truste de diversos países [52]. Esta seção apresenta duas das medidas de concentração mais utilizadas.

5.4.1 RAZÕES DE CONCENTRAÇÃO C_N

Suponha M empresas em um mercado, em que as N primeiras empresas (1, 2, ..., N) são as que possuem as maiores participações do mercado. Define-se como razão de concentração C_N através a seguinte expressão:

$$C_N = \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{Q_i}{\sum_{j=1}^{M} Q_j} \right) \tag{5.2}$$

onde Q_i é a referencia para o calculo da participação da empresa i no mercado (e.g., faturamento, vendas, capacidade instalada, etc.)

Se N = 3, temos o C3, se N = 4, temos o C4, assim por diante. Esta é uma medida muito fácil de ser computada, principalmente se a finalidade é encontrar o C2, C3 ou C4, pois as informações sobre faturamento, capacidade instalada ou vendas das empresas líderes, normalmente, estão disponíveis.

Uma variação positiva desta medida se dá quando uma das empresas, que faz parte das N empresas anteriormente escolhidas, se funde (compra ou é comprada) com uma das firmas fora do conjunto das N empresas. Uma variação nula ocorre se ambas as firmas estão fora das N empresas, e permanecem fora após a fusão. Por último, uma variação negativa nunca ocorre, como resultado de uma fusão ou aquisição.

5.4.2 ÍNDICE DE HERFINDAHL-HIRSHMAN

O índice de Herfindhal-Hirschman (HHI) é um dos índices mais utilizados, mais o seu cômputo é um pouco mais trabalhoso. Suponha M empresas em um mercado, define-se como o HHI através da seguinte equação:

$$HHI = \sum_{i=1}^{M} \left(\frac{Q_i}{\sum_{j=1}^{M} Q_j} \right)^2 \qquad (5.3)$$

onde novamente Q_i é a referencia para o cálculo da participação da empresa i no mercado.

Normalmente o HHI é calculado a partir da participação das empresas no mercado em %, ou seja, no caso de um monopólio (uma empresa tem 100% do mercado) o HHI será dado por:

$$HHI = \sum_{i=1}^{1} (100)^2 = 10000$$

Por outro lado, se existem N empresas idênticas com participações iguais no mercado, o índice será:

$$HHI = \sum_{i=1}^{N} \left(\frac{100}{N} \right)^2 = \frac{10000}{N}$$

Assim, percebe-se que quanto maior o poder de mercado, maior será o HHI.

Esta é uma medida, diferentemente do C_N, mais complicada de ser computada, pois as informações sobre faturamento, capacidade instalada ou vendas de todas, e não apenas das empresas líderes, na maioria das vezes não estão disponíveis.

Com este índice, após uma fusão, sempre haverá uma variação positiva do mesmo. Portanto, nunca se observará uma variação nula ou negativa.

Na Tabela 5.1 é apresentada a classificação típica dos mercados de acordo com os índices HHI.

Tabela 5.1 – Classificação Típica de Mercados para o HHI

Tipo do Mercado	Nº Empresas e Participação	Índice HHI
Monopólio	1 com 100%	10000
Mercado Dominado	1 com 70% e 2 com 15%	5350
Oligopólio	4 com 25%	2500
Mercado Competitivo	7 com 14,3%	1431
Grande Mercado	12 com 8,3%	883

5.4.3 EXEMPLO SIMPLES

Neste exemplo simples serão comparados a razão de concentração CN e o índice HHI. Considera os dados apresentados na Tabela 5.2 para dois mercados diferentes.

Tabela 5.2 – Exemplo Simples (C_N x HHI)

Empresa	Participação no Mercado A (%)	Participação no Mercado B (%)
1	50	20
2	15	20
3	10	20
4	5	20
5	5	20
6	5	-
7	5	-
8	5	-

Mercado A:	Mercado B:
C_4 = 80%	C_4 = 80%
HHI = 2950	HHI = 2950

Pelo exemplo acima, pode-se concluir que, muito embora o C_4 seja o mesmo em ambos os mercados, o HHI consegue captar o fato do mercado A ser mais concentrado do que o mercado B. Assim sendo, se for possível o cálculo do HHI, o uso deste índice normalmente é mais apropriado.

5.5 CONCLUSÃO

Uma vez que a Teoria dos Jogos é o instrumento natural para a avaliação de poder de mercado em ambientes competitivos, este capítulo apresentou um resumo dos principais conceitos desta teoria, incluindo o conceito de Equilíbrio de Nash e a definição do Modelo de Cournot.

Foram apresentados também três exemplos da aplicação desses conceitos em sistemas elétricos simples, mostrado que em sistemas com restrição de transmissão podem existir múltiplos Equilíbrios de Nash, ou mesmo não existir nenhum quando apenas estratégias puras são consideradas.

Finalmente foram apresentadas algumas medidas de concentração de mercado também utilizadas para avaliação de poder de mercado, com destaque para a Razão de Concentração e Índice de Herfindhal-Hirschman (HHI). Foi mostrado através de um exemplo simples que se é possível calcular o índice HHI, este é mais apropriado que a Razão de Concentração.