

Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Tecnologia
Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção
Janete Pereira Amador

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de Mestrado

**SISTEMA DE OTIMIZAÇÃO PARA A PRODUÇÃO
INDUSTRIAL DE SUÍNOS VIA DELINEAMENTO
EXPERIMENTAL**

elaborada por

Janete Pereira Amador

como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia de Produção

COMISSÃO EXAMINADORA:

Adriano Mendonça Souza
(Presidente/Orientador)

João Eduardo da Silva Pereira
(Co-orientador)

Marco

Santa Maria, 18 de junho de 2001

1 INTRODUÇÃO

A história econômica brasileira, com suas implicações sociais, políticas e culturais, tem fortes raízes junto ao agronegócio. O processo de colonização e crescimento estão ligados a vários ciclos agroindustriais, como a cana-de-açúcar, a borracha e mais recentemente o café, tornando-se a mais importante fonte de poupança interna e o principal financiador do processo de industrialização.

De acordo com HADDAD (1998), os agronegócios representam 30% do nosso produto interno bruto, emprega mais de 35% da população economicamente ativa residente e responde por 40% das exportações.

Dentro desse universo de agronegócios, surge a suinocultura, uma atividade que permite transformar cereais (milho e soja), resíduos e alimentos não convencionais em carne nobre de alto valor protéico. A importância da suinocultura também pode ser avaliada através da análise de seu mercado mundial, que indica ser a carne mais consumida do mundo. Segundo estimativas do National Pork Producers Council (NPPC), em cada tonelada (ton) de carne suína exportada estariam agregadas 3,53 ton de milho. Desta forma, as exportações de carne são uma forma alternativa de incrementar as exportações de grãos. Além disto, a crescente industrialização abre novas oportunidades para agregar maior valor aos produtos derivados, gerando novos empregos e uma maior atividade econômica.

No entanto, com os novos padrões exigidos pelo mercado consumidor, na atividade suinícola, tornou-se prioridade a produção de animais com alta velocidade de crescimento, carcaças com mais músculo e menos gordura além de excelente conversão alimentar. Neste sentido, a nutrição dos animais torna-se extremamente importante e influi diretamente na qualidade do produto além de contribuir com a maior parte dos custos de produção. Por tudo isto, uma das principais preocupações dos pesquisadores, da indústria e dos produtores tem sido encontrar formas de baratear os custos de produção sem alterar a qualidade do produto final.

Sendo assim, para uma correta adequação nutricional e conseqüente otimização da produção, dividi-se a produção comercial de suínos em quatro fases : maternidade, creche, crescimento e terminação, em cada uma os requerimentos nutricionais são diferenciados.

A fase de creche é considerada crítica, pois neste período os problemas nutricionais são freqüentes. Conseqüentemente as fases subsequentes estão na dependência da adequação de uma dieta correta para este período. Para tanto, experimentos nutricionais envolvendo níveis seqüenciais de nutrientes na ração (energia digestível e proteína bruta) são freqüentemente realizados.

Nesse contexto, técnicas de delineamento experimentais são largamente utilizadas para quantificar a influência destes níveis sobre a característica de interesse no produto. No entanto, a eleição inadequada do planejamento experimental e a metodologia de análise estatística utilizadas podem prejudicar a obtenção e interpretação dos resultados, impondo uma estrutura extremamente restritiva para o estudo das variáveis em questão.

Portanto, o problema a ser resolvido é, a partir de um exemplo prático não trivial, ajustar um determinado nível de energia digestível e proteína bruta na ração de leitões durante o período de creche. Além de identificar as possíveis falhas e limitações para as diferentes abordagens de análises.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Através do uso de diferentes abordagens no processo de análise estatísticas dos resultados, buscar a maximização das informações contidas com vistas a otimizar o desempenho das variáveis respostas e minimizar os custos de produção.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar o melhor modelo de análise estatística, bem como relacionar algumas desvantagens dos modelos estudados para experimentos com leitões na fase de creche envolvendo vários níveis nutricionais.
- Otimizar os níveis de nutrientes necessários utilizados na ração de leitões durante o período de creche.

1.2 Justificativa

Devido à importância da suinocultura dentro do agronegócio, na economia nacional, se faz necessário o desenvolvimento de técnicas eficientes para melhorar o desempenho desta atividade econômica. Uma das formas pelas quais se pode melhorar o desempenho da suinocultura é o desenvolvimento de técnicas corretas de avaliação do sistema produtivo. Sendo as técnicas mais utilizadas delineamento e análise de experimento, este trabalho se justifica por uma visão ampla e mais aguçada nas diversas técnicas de análise de experimento na suinocultura. Desta forma, fornecendo subsídios os quais contribuirão para o aumento da produtividade, além de adequar o sistema produtivo às exigências do mercado.

1.3 Estrutura do trabalho

Este trabalho está estruturado como se descreve a seguir. No primeiro capítulo, é apresentado o tema, os objetivos e a justificativa do trabalho.

O segundo capítulo é dedicado à revisão bibliográfica, sendo esta abordada em três partes. Num primeiro momento, será apresentada uma revisão bibliográfica sobre a suinocultura e sua importância dentro do sistema produtivo nacional. Num segundo momento será discorrido sobre as variáveis utilizadas para avaliação do sistema produtivo e as variáveis de controle do processo. E por fim, serão abordados os possíveis desenhos experimentais bem como as análises estatísticas empregadas em experimentos nutricionais.

Já no terceiro capítulo são apresentados os materiais e a metodologia para realização do estudo.

No quarto capítulo, encontram-se os resultados e as discussões.

No quinto capítulo, são feitas as conclusões do trabalho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Para um melhor entendimento do presente capítulo, este foi dividido em três partes. Primeiramente será apresentada uma revisão bibliográfica sobre a suinocultura e sua importância dentro do sistema produtivo nacional. Após será discorrido sobre as variáveis utilizadas para avaliação do sistema produtivo e as variáveis de controle do processo. Finalizando serão abordados os possíveis desenhos experimentais bem como as análises estatísticas empregadas em experimentos nutricionais com suínos.

2.1 Suinocultura Brasileira

A suinocultura brasileira teve início a partir da colonização portuguesa com a introdução de raças oriundas da Península Ibérica. Essas raças cruzaram-se desordenadamente e deram origem às raças nacionais que possuíam baixa produtividade e pouca eficiência econômica, produzindo basicamente gordura.

No entanto este quadro começou a modificar a partir das décadas de 50 com a implantação do programa de modernização agrícola, que fez com que o país expandisse a fronteira agrícola e, em 1970, iniciou-se a produção comercial/ industrial de suínos dentro de uma expectativa mundial (ABCS, 1998).

Dessa forma, a suinocultura nacional começou a sofrer uma série de transformações significativas, iniciando pelas questões genéticas, a partir da implantação de raças com maior rendimento de carne em detrimento da gordura, passando pela alimentação dos animais a qual prioriza rações balanceadas. Todas estas mudanças produziram um novo tipo de animal, ou seja, um animal mais muscular e menos gorduroso chegando ao suíno atual que tem 70% de traseiro e 30% de dianteiro (ALBUQUERQUE, 1991).

Sendo assim, dentro deste contexto evolutivo, hoje pode-se representar um sistema de produção de suínos como sendo uma “Fábrica de Suínos”. Esta fábrica apresenta-se esquematicamente representada através da Figura 1.



Fonte: SOBESTIANSKY et al. (1998)

FIGURA 1 – Representação esquemática de uma Fábrica de Suínos.

SOBESTIANSKY et al. (1998) comentam que para a fábrica ser eficiente e lucrativa, apresentando alta produtividade a baixos custos, é necessário uma perfeita interação e sincronização entre a genética e a nutrição (consideradas matérias-primas) com as áreas de suporte da linha de montagem (instalações, manejo e os recursos humanos). Desta forma, os efeitos das forças negativas à produção, (ambiente adversos e patógenos), serão controlados e minimizados ou, preferencialmente, eliminados.

– Estrutura da Produção de Suínos

O Brasil apresenta um rebanho suíno de aproximadamente 35 milhões de cabeças concentradas principalmente nas regiões Sul (31,5%), Nordeste (28,5%), Sudeste (18,2%) e região Centro Oeste (10,6%). No período compreendido entre 1985 e 1996, datas dos dois últimos censos agropecuários, a região Sul e Centro Oeste foram as únicas regiões que apresentaram crescimento de participação na produção brasileira, sendo que a região Sul consolidou-se como a mais importante provedora de carne de suínos para o país (IBGE, Censos Agropecuários, apud TALAMINI, 1999).

A região Sul é caracterizada por possuir um grande parque agroindustrial. O sistema de produção é realizado com integrações constituídas por milhares de pequenos produtores, com uma média de 12 a 15 matrizes por propriedade. A produtividade média do criatório

nacional é de 16 leitões/porca/ano, já a média dos produtores integrados é de 25,5 leitões/porca/ano.

De acordo com ALMEIDA (1998), vários foram os fatores que levaram os produtores a se integrarem à indústria, sendo os principais relacionados com a dependência do crédito de custeio da atividade, a compra de insumos e à venda de animais, bem como, a assistência técnica e a possibilidade de obter tecnologia.

A produção de leitões é considerada a fase de maior risco do processo produtivo, por ser a fase de maior exigência em manejo tanto das matrizes como dos leitões durante o aleitamento e desmame, sendo esta fase de maior ocorrência de doenças, caso o manejo não seja adequado. Os leitões são desmamados com idade média de 21 a 28 dias permanecendo na creche até completarem 70 dias. Uma outra questão importante nesta fase são as instalações, essas devem ser adequadas com baias de gestação, maternidade e área de creche para os leitões desmamados (TABARIN, 1997).

A terminação é a última fase do processo produtivo, o terminador recebe o leitão com peso entre 22 e 30 kg, com idade aproximada de 70 dias, ficando responsável pelo crescimento e a engorda. Os suínos terminados são encaminhados para o abate com idade de 90 a 100 dias e peso entre 80 a 100kg, dependendo do preço de mercado.

– Mercado Suinícola Nacional e Internacional

A produção mundial de carne suína nos últimos 40 anos cresceu a uma taxa anual de 3,3%, alcançando, em 1999, 88 milhões de toneladas. Os dez maiores produtores mundiais são a China (45,18%), Estados Unidos (9,98%), Alemanha (4,19%), Espanha (3,31%), França (2,66%), Polônia (2,30%), Brasil (1,98%), Dinamarca (1,95%) Holanda (1,93%) e Canadá com 1,63% (ANUALPEC, 1999).

Segundo SANTOS FILHO *et al*, (2000) no mercado internacional, em 1998, o Brasil exportou 85 mil toneladas de carne registrando um volume de exportação 30% maior que o de 1997 e uma receita cambial de US\$ 160 milhões (10% a mais do que em 1997). Para o ano 2000, estima-se que serão exportados 250 mil toneladas de carne atingindo o valor de US\$ 600 milhões. Isto colocaria o Brasil no mesmo nível de produção de países com tradição na produção de suínos, como Rússia e Holanda, os quais têm demonstrado tendências consistentes de redução. As exportações dão-se preferencialmente sob a forma de cortes e os países que mais importam são Hong Kong, Argentina e Uruguai.

– Consumo

No cenário Internacional, a carne suína, por ser a mais consumida no mundo, desempenha um importante papel no fornecimento de proteínas de origem animal na alimentação humana. Nos grandes países

consumidores como Alemanha, Holanda, Bélgica o consumo chega a 55 kg/ano, este ocorre principalmente na forma "*in natura*", por possuir preços acessíveis e menor valor agregado (VELHO, 1996).

Já no Brasil, o consumo ocorre principalmente sob a forma industrializada. Os embutidos cozidos, defumados e curados constituem 70% da forma de consumo, os outros 30% ocorrem na forma de carne "*in natura*" (CARDOSO, 1997).

De acordo com ROPPA (1996), o baixo consumo da carne suína *in natura* no Brasil (em torno de 9,0 kg/hab/ano) pode ser atribuído ao alto valor agregado dos itens industrializados, já que estes perfazem a maior parte do consumo.

Segundo ALBANO (1991), o crescimento do mercado de carne suína industrializada iniciou-se na década de 60 e, desde então, vem percorrendo um caminho ascendente. GOMES (1993) comenta que a especialização na produção de embutidos e produtos curados tenha ocorrido como forma de evitar a competição com a carne de boi, já que pela abundância de terras e pastagens propicia um baixo custo de produção.

Preocupados com o baixo consumo de carne suína, órgãos ligados ao setor criaram um fundo de campanha, que vem na forma de contribuição no valor de R\$ 0,10 sobre cada suíno destinado ao abate. O setor espera arrecadar com isso R\$ 1,2 milhões que será aplicado em campanhas de marketing nos grandes centros consumidores (ABCS, 1999).

De acordo com TABARIN (1997), além do investimento em publicidade o setor suinícola, a exemplo da avicultura, vem desenvolvendo pesquisas na área de nutrição, genética, manejo e instalações, na tentativa de minimizar os custos de produção, pois com um menor custo o produtor aumenta os lucros e o consumidor, o consumo.

– Custos de produção

Apesar dos esforços desenvolvidos, a produção de suínos no Brasil ainda é uma atividade de grande instabilidade no que se refere a preços e lucratividade para produtor.

Um dos parâmetros de medida da lucratividade do setor mais difundido é a relação existente entre o preço do quilo do suíno vivo e o preço do quilo do milho. Este é comumente empregado pelos produtores para analisar o desempenho econômico da atividade. Alguns estudos mostram que, quando esta relação ultrapassa 6 : 1, isto é, seis quilos de milho para um de suíno, os produtores aferirão lucros, abaixo dessa, incorrerão em prejuízos.

ROPPA (1996) estabeleceu uma relação direta entre os aumentos de lucratividade do setor, resultantes dos planos implantados no Brasil desde 1985, e o aumento de consumo de carne suína, evidenciando que o mercado responde rapidamente com o aumento do consumo cada vez que o preço relativo se torna atraente.

De acordo com várias pesquisas, do custo total de produção, a alimentação tem representado de 70 a 80% deste total, sendo que na planilha do custo da ração o milho e o farelo de soja são os ingredientes que entram em maior quantidade, portanto, representam a parte mais onerosa da ração, e, quanto mais distante estiver o criador da região produtora de grãos maior será o custo de produção. Neste sentido, ALBUQUERQUE (1991) relata que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais de ração sendo que 80% desta é utilizada na produção de aves e suínos.

2.1.1 Síntese

O cenário exposto anteriormente permite verificar que a suinocultura representa uma fonte de grande geração de capital, promovendo divisas em nível nacional e internacional. No entanto os custos de produção principalmente com alimentação, tornam a lucratividade aquém do esperado.

Dessa forma é necessário que o setor incremente sua produtividade com a conseqüente redução do custo relativo e o aumento da competitividade em relação à carne bovina e de frango. Além disto, as perspectivas de abertura de novos mercados internacionais, tal como ocorreu com a carne de frango, deverá provocar no setor a necessidade de ajustes a padrões internacionais de qualidade, com o conseqüente aperfeiçoamento tecnológico.

2.2 Variáveis de Estado e Controle

As terminologias de variáveis de controle e de estado empregadas neste trabalho referem-se a variáveis de estado como sendo as variáveis de características de interesse econômico que se traduzem em ganho de peso, consumo de ração, conversão alimentar (quantidade de ração consumida para ganhar 1 kg de peso) e custo do kg produzido. Já as variáveis de controle (níveis protéicos e energéticos contidos na ração) são impostas no processo de forma a provocar alterações nas variáveis de estado.

– Variáveis de Estado

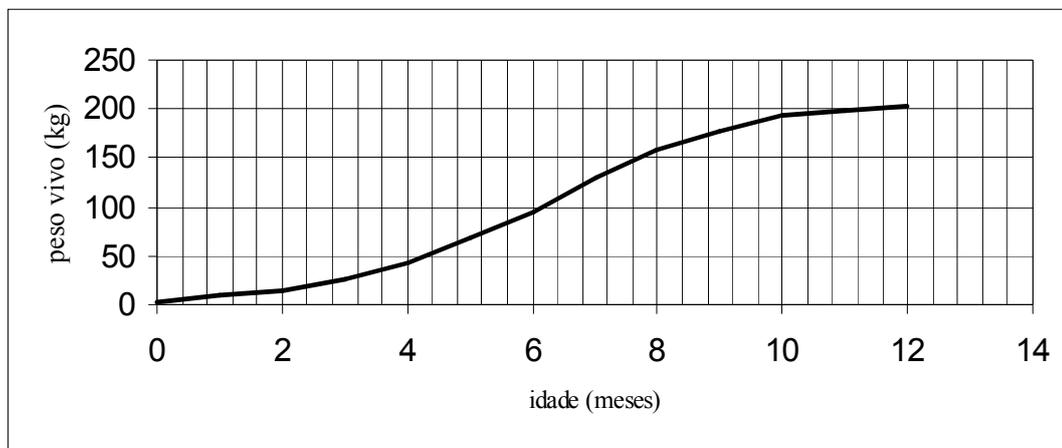
Como foi visto no item 2.1 do custo total da produção de suínos, a alimentação tem representado de 70 a 80% deste total, sendo que na planilha do custo da ração o milho e o farelo de soja são os ingredientes que entram em maior quantidade, portanto, representam a parte mais onerosa da ração.

Desta forma SOBESTIANSKY et al. (1998), relata que no manejo alimentar para suínos é fundamental determinar de forma precisa a inter-relação econômica que existe entre ganho de peso diário, conversão alimentar, custo da alimentação e qualidade da carcaça dentro de cada fase do processo produtivo.

Neste sentido CASTAGNA (1998) e VIELMO (1997), trabalhando com experimentos nutricionais para suínos, fizeram a análise econômica utilizando equações onde o custo do kg vivo do leitão é dado em função de variáveis como: consumo diário de ração, custo da ração, número de dias necessários para a produção.

Conforme Gai, *apud* PEREIRA (1991) na análise econômica deve-se levar em conta que as variáveis de estado possuem um comportamento diferenciado para cada período dentro do processo produtivo, além disso, o comportamento destas é uma função do estágio fisiológico do animal.

Segundo WHITTEMORE (1979), o crescimento dos suínos segue normalmente um padrão sigmóide. No princípio da vida a taxa de aumento de peso é acelerada, enquanto que entre os 30 e os 120 kg o crescimento é expresso por uma curva quase linear. À medida que o animal atinge a maturidade, há uma fase de aceleração e em seguida uma estagnação do peso. Conforme o autor, economicamente, o conhecimento deste padrão de crescimento permite adequar a alimentação para que esta seja otimizada dentro de cada período de produção, dessa forma, maximizando as características de qualidade. A curva de crescimento dos suínos pode ser visualizada na Figura 2.



FONTE: WHITTEMORE, 1979.

FIGURA 2 – Curva de crescimento do suíno.

Neste sentido CRITSER et al. (1995) comentam que existe uma relação direta entre deposição de gordura na carcaça e conversão alimentar, porque o gasto energético para formar tecido adiposo é muito maior do que para deposição de tecido magro. Assim quanto maior a deposição de gordura, pior é a conversão alimentar.

Conforme LIMA et al (1990) a alimentação artificial dos leitões começa a ser determinante na fase de creche, período que vai do desmame até os animais atingirem um peso em torno de 25 a 30 kg. É nesse período que ocorrem os maiores problemas nutricionais, pois o leitão sofre um choque fisiológico (estresse), que associado a mudança na mucosa intestinal pode desencadear diarreias.

De acordo com PEREIRA (1991), na fase de creche os leitões necessitam de pouca ração para sua manutenção, a conversão alimentar é

ótima e o fator limitante é o consumo diário de ração. Por isso os melhores resultados são conseguidos com rações de alta digestibilidade e alta densidade de nutrientes.

Tem sido evidenciado em muitos trabalhos que a temperatura influencia a ingestão de alimentos nos suínos. JENSEN (1991) relata que temperaturas ambientais acima da crítica superior reduzirão significativamente o consumo voluntário, com menor ganho e reduzida eficiência alimentar.

De acordo com OLIVERIRA et al. (1997a), os suínos mantidos em ambiente de estresse calórico reduziram o consumo de alimento e ganho diário de peso. Já em condições de baixa temperatura, verifica-se um aumento no consumo de alimento, acompanhado de uma diminuição na eficiência de utilização deste (DONZELE, et al. 1993a).

– Variáveis de Controle

Energia e proteína representam os principais nutrientes da ração para suínos. De suas combinações e proporções dependem o desempenho dos animais e conseqüentemente a lucratividade da produção. CARDOSO (1997) destaca que utilizando-se nas rações um balanceamento energético e protéico adequado, para as diferentes categorias e fases dos suínos, consegue-se um animal mais saudável com melhores índices produtivos.

Segundo a DALLAND (1998) a ração fornecida aos suínos é basicamente composta de energia e proteína.

A principal função dos ingredientes energéticos é o fornecimento de energia, na forma de carboidratos, presentes nos grão de cereais.

Conforme BIKKER (1995), nas rações, a energia é o item de maior proporção e, conseqüentemente, é a fração mais onerosa.

BERTOLIN (1992) argumenta que na alimentação dos suínos a proporção de milho utilizada na elaboração das rações pode chegar a um valor de 40 a 90% do total de ingredientes, principalmente nas fases de crescimento, terminação, reprodução e lactação.

O nível energético influencia o consumo voluntário de ração, determinando a ingestão dos outros nutrientes; assim, no cálculo de uma dada ração, as exigências são estabelecidas de acordo com o nível de energia digestível (ED) FONTES et al. (1996).

De acordo com OLIVEIRA et al. (1997b), suínos alimentados com dietas que possuem baixos níveis de energia consomem mais alimento. Entretanto, segundo McCONNEL et al. (1995), o consumo extra de alimentos é insuficiente para alcançar consumos de energia digestível semelhantes àqueles dos suínos alimentados com dietas com maiores níveis de energia.

KANSAS...(1994) descreve que as exigências de energia por unidade de ganho de peso corporal serão variáveis em função da proporção de ganho de proteína e de gordura que, por sua vez, são dependentes do estágio de crescimento e da disponibilidade de energia

digestível e de aminoácidos na dieta. Na mesma obra ainda é relatado que o consumo adicional de energia é depositado na carcaça na forma de gordura.

Segundo CARMINO (1994), quando o consumo de energia é alto, além da necessidade para ótima síntese protéica, ocorre aumento na deposição de gordura, aumentando a participação de energia para esta função, com piora na conversão alimentar.

Conforme FARIAS (1979) o consumo de energia exerce influência sobre o desempenho e qualidade da carcaça, entretanto, a quantidade de energia ingerida está relacionada com outros nutrientes, principalmente com a proteína e, quando se deseja obter carcaças mais magras, a redução do nível energético ou o aumento do conteúdo protéico das rações pode favorecer a produção destas.

De acordo com OLIVEIRA et al. (1997b); DONZELE et al. (1997) e HYUN et al. (1997) as necessidades diárias de calorías, a relação dessas com os níveis de energia fornecida, com a ingestão de outros nutrientes e com a deposição de proteína e gordura na carcaça, além de dependerem do estágio de produção do animal, da condição sexual, da carga genética e da alta variabilidade de cada indivíduo, ainda podem ser fortemente influenciadas pelas condições de meio ambiente e manejo.

KRYAZAKIS & EMMANS (1992) realizaram um estudo para definir a forma de relação entre as variáveis nível de proteína e nível de energia, em dietas de leitões a partir dos 12 kg de peso vivo. Os autores observaram que a eficiência de utilização de proteína pelos animais, em

níveis de baixo consumo de proteína, foi independente do consumo de alimento e, conseqüentemente, do consumo de energia. Contudo, a níveis altos de consumo de proteína, a eficiência de utilização de proteína foi aumentada, significativamente, pelo aumento do consumo de energia.

BERTECHINI et al. (1986), OLIVEIRA et al. (1986) e FONTES et al. (1994), utilizando diversos níveis de energia na dieta para suínos em crescimento e terminação, em condições e locais diferentes, verificaram que o aumento no nível de energia da dieta acarreta melhoria na conversão alimentar, sem haver influência no ganho de peso dos suínos.

JONES (1997) e GODOY et al. (1996), analisando níveis de ED variando de 3150 a 3700kcal/ kg de ração, não verificaram efeitos sobre consumo de ração e ganho de peso de animais na fase de creche. Entretanto, SILVA (1997) observou aumento linear do ganho de peso em razão do nível de energia digestível, que não influenciou o consumo de ração.

Quanto à fração protéica, essa geralmente possui preço proporcional mais elevado que a da energética, razão pela qual é de suma importância um correto balanceamento desse nutriente. Além disso, proporções incorretas podem levar os suínos a um desenvolvimento aquém do esperado, principalmente na fase inicial de crescimento, em que as deficiências causarão desenvolvimento lento e o aumento de peso futuro será bem mais dispendioso (PEREIRA, 1991).

Já o excesso de proteína não traz vantagens, porque esse será desaminado, aproveitando-se o resíduo carbonado para a produção de energia, em um processo pouco eficiente e dispendioso. Outro ponto a ser levado em conta é a ocorrência de excesso de determinado aminoácido, o qual será preferencialmente assimilado em detrimento de outro. Isso prejudicará a qualidade da proteína metabolizável e baixará a digestibilidade (EDMONDS et al., 1998).

De acordo com BERTOL et al. (2000), o balanceamento dos aminoácidos da dieta, bem como um suprimento adequado de proteína são muito importantes, devido ao alto custo metabólico para degradação e excreção dos aminoácidos que estão em excesso.

Conforme CARVALHO et al. (1999), o desmame é um processo durante o qual ocorre adaptação progressiva do sistema digestivo dos leitões à digestão de alimentos sólidos e de outros nutrientes não presentes no leite da porca. Uma das formas de melhorar o desenvolvimento de leitões recém desmamados é o fornecimento de rações com alto valor nutritivo, alta eficiência protéica e alta digestibilidade.

Neste sentido, NETO et al. (1994), em um experimento com leitões, estudaram a utilização de dois tipos de dietas: simples (milho e farelo de soja) e complexa (milho, farelo de soja, 10% de soro seco de leite, 3,5% de farinha de carne e ossos e 2% de açúcar), além disso estudaram dois níveis protéicos 20 e 16%. Os autores concluíram que a dieta complexa não melhora o desempenho dos animais e que o nível

protéico de 16% pode ser utilizado desde que a dieta seja suplementada com os aminoácidos limitantes para leitões dos 28 aos 63 dias de idade.

CONCI & SEBASTIÃ (1979) estudaram vários níveis de proteína bruta para leitões dos 5 aos 56 dias de idade e concluíram que os níveis mais indicados para as dietas fornecidas antes e após a desmama seriam 18 e 16%, respectivamente. Por outro lado, LIMA et al. (1990a) determinaram que a exigência de proteína bruta para leitões desmamados aos 21 dias e até os 15 kg de peso vivo foi de 22%.

De acordo com COLE & VAM LUNE (1994), a principal diferença entre suínos de diferentes classes (sexo, linhagem, idade, peso) deve ser a quantidade de proteína que é necessária de acordo com os diferentes potenciais para deposição de tecido magro.

DONZELE et al. (1993b) para verificar as exigências de PB para leitões na fase de crescimento, pesando entre 15 e 30 kg, realizaram um experimento testando 5 níveis de PB na ração (14, 16, 18, 20 e 22% de PB). Os autores observaram efeito quadrático dos tratamentos sobre a conversão alimentar, que melhorou até o nível de 21% de PB. Com relação ao consumo de ração não foi observada diferença entre os tratamentos. No entanto o ganho de peso diário aumentou até o nível de 17,4% de PB, indicando com isto uma melhor eficiência na utilização dos alimentos. Dessa forma, os autores recomendam para esta categoria de animais, o nível de 19,74% de PB na ração para um máximo rendimento.

O ambiente térmico, no qual um suíno é mantido pode influenciar seu consumo voluntário de alimento, a eficiência alimentar e a

composição do ganho. No ambiente termoneutro, o animal apresenta melhor eficiência na utilização dos nutrientes, como consequência do mínimo esforço termorregulatório para manter a temperatura corporal (VERSTEGEN e CLOSE, 1994).

Neste sentido, ORLANDO et al. (2000) realizaram um estudo para determinar o requerimento de proteína bruta de leitoas, pesando entre 15 aos 30 kg, mantidos em ambiente de conforto térmico (21⁰C). Os níveis de PB testados foram 16, 17, 18, 19 e 20% de PB na ração. Os autores observaram efeito linear crescente dos tratamentos sobre o ganho de peso, consumo de proteína e taxa de deposição de gordura e indicam o nível de 19,27% de PB como sendo o responsável pela melhor performance dos animais.

2.2.1 Síntese

Através do exposto verificou-se que o consumo de ração, ganho de peso e conversão alimentar e custo do kg do suíno são as principais variáveis utilizadas para análise econômica da produção, qualquer redução ou elevação dessas pode representar lucro ou prejuízo para o produtor. Além disso, o comportamento das mesmas é uma função do estágio fisiológico do animal. Sendo assim, a seguir serão apresentados os principais desenhos experimentais utilizados em pesquisa nutricional com suínos.

2.3 Desenhos experimentais

Muito do conhecimento que a humanidade acumulou ao longo dos séculos foi adquirido através da experimentação. A experimentação, no entanto, só se difundiu como técnica sistemática de pesquisa neste século, quando foi formalizada através da estatística. Dessa forma, as técnicas experimentais tornaram-se universais e se aplicam às diferentes áreas. Entretanto, embora os princípios gerais de experimentação sejam os mesmos para todos os campos de aplicação, há detalhes específicos que distinguem experimentos industriais, ensaios com bovinos de leite e corte, trabalhos experimentais com suínos, aves e assim por diante.

De acordo MONTGOMERY (1991), métodos de desenhos experimentais representam um importante papel no desenvolvimento de um processo além de viabilizar o uso de técnicas para melhorar o desempenho deste.

ANSUJ (2000) relata que o projeto de experimento é uma das técnicas mais poderosas para o aumento da qualidade e da produtividade. Conforme a autora o projeto de experimento é conhecido como um método estatístico “ativo”, já que as informações são obtidas para melhorá-lo, com base em testes feitos no processo, mudanças feitas na entrada e observações na saída.

Segundo STEEL & TORRIE (1990), para que um experimento possa ser realizado de forma eficiente, deve ser utilizada uma abordagem

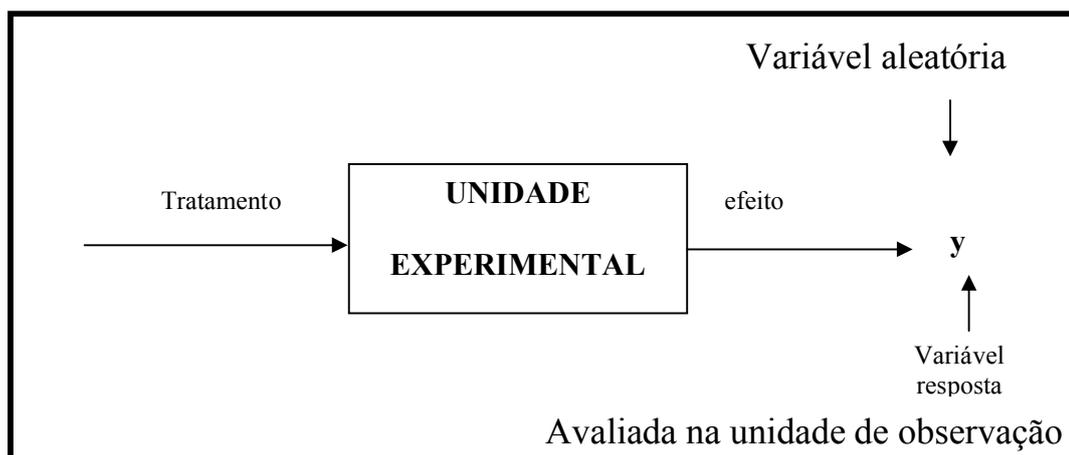
científica para seu planejamento, de forma que dados apropriados sejam coletados em tempo e custo mínimos.

RIBOLDI (1994) & PASA (1996) sugerem algumas etapas a serem seguidas para a elaboração de um bom experimento. Sendo estas as seguintes:

- Enunciado do problema e formulação de hipóteses.
- Escolha dos fatores que devam ser incluídos no experimento e dos seus respectivos níveis (escolha dos tratamentos).
- Escolha da unidade experimental ou da unidade de observação.
- Escolha das variáveis a serem medidas na unidade de observação.
- Determinação de regras para a atribuição dos tratamentos às unidades experimentais (escolha do delineamento experimental).
- Determinação do número de repetições.
- Casualização ou aleatorização.
- Escolha do procedimento de análise dos dados.

Conforme FEDERER (1952) um desenho experimental depende basicamente do tipo de material experimental utilizado, particularmente de sua homogeneidade, e de um sistema de aleatorização eficiente. Neste sentido BANZATTO & KRONKA (1989) argumentam que um sistema de aleatorização eficiente é aquele que garante uma distribuição dos tratamentos nas unidades experimentais, livre de qualquer subjetividade.

Para exemplificar a estruturação geral de um experimento propõe-se o sistema representado na Figura 3.



Fonte: adaptado de RIBOLDI, 1993.

FIGURA 3 – Estruturação geral de um experimento.

WEKEMA & AGUIAR (1996) definem algumas terminologias básicas usadas em delineamento experimental:

- Unidade experimental: unidade básica para qual será feita a medida da resposta.
- Fatores: são as variáveis que podem influenciar as características de qualidade que estão sendo estudadas.
- Níveis de um fator: diferentes modos da presença de um fator no estudo considerado.

- Tratamento: combinações específicas dos níveis de diferentes fatores. Quando há apenas um fator, os níveis deste fator correspondem ao tratamento.
- Repetição: é o número de unidades experimentais que cada tratamento recebe.

Conforme SAMPAIO (1998) na experimentação animal a movimentação dos animais e as leis comportamentais que os regem, faz com que estes se deparem com fatores que, freqüentemente, interferem na resposta experimental. Assim sendo, a variação individual das unidades experimentais é maior quando comparada àquela observada entre canteiros na experimentação agrícola.

LUCAS (1970) classifica os experimentos zootécnicos, no que se refere a nutrição animal, em contínuos e alternativos. Conforme o autor, nos experimentos contínuos cada animal recebe o mesmo tratamento até o final do período experimental. Já nos experimentos alternativos, eles recebem, em seqüência, dois ou mais tratamentos durante o transcorrer do experimento. Os experimentos alternativos são específicos para vacas leiteiras sendo raramente utilizado para outros tipos de animais.

De acordo com GOMES (1990), os experimentos com suínos ocupam uma posição intermediária entre as aves animais numerosos, homogêneos e de preço baixo, e os bovinos, estes caros, heterogêneo e geralmente disponíveis em pequena quantidade para experimentação.

Segundo GUIDONE (1996), um fator limitante na experimentação animal, para se definir a unidade experimental ideal, é que as instalações

já estão construídas para realizar diversos tipos de experimentos e nesse caso o pesquisador precisa ter muita atenção para não incorrer em acréscimo do erro experimental.

GOEDERT et al (1994) relatam que em experimento com suínos o número de animais por baia pode variar de 1 até 16. Conforme os autores na fase de creche em hipótese alguma se deve usar 1 ou 2 animais por baia, porque estes sofrerão bastante ao serem desmamados, principalmente na primeira semana do experimento. Nestes experimentos devem, como regra geral, conter um reduzido número de tratamentos (5 ou menos) para que seus efeitos possam ser expressados pois existe a interferência de vários fatores, como origem dos pais, sexo, peso, idade, entre outros (FINNEY, 1962).

Neste sentido, SAMPAIO (1998) relata que nos desenhos experimentais utilizados, deve-se observar o princípio da uniformidade, desta forma, será garantida uma comparação eficiente de médias e possibilitará a estimativa da variação individual, uma vez que o efeito de fatores circunstâncias (sexo, raça entre outros) poderá ser controlado pelo desenho experimental.

KALIL (1977) VIEIRA & HOFFMANN (1989) comentam que em experimento com leitões os desenhos experimentais utilizados são inteiramente casualizados, blocos ao acaso, quadrado latino além de delineamentos onde vários fatores são estudados simultaneamente (experimentos fatoriais) e parcelas subdivididas.

Estes desenhos serão caracterizados sucintamente a seguir.

– Delineamento Completamente Casualidade

Conforme WINER (1971) quando todas as unidades experimentais (UE) a serem incluídas no experimento são essencialmente homogêneas não existe razão para haver restrições na casualização, ou seja, separar o material experimental em blocos homogêneos, assim qualquer UE pode receber qualquer tratamento. Desta forma dá-se a estruturação de um Delineamento Completamente Casualidade (DCC) pois, as observações numéricas feitas sobre as unidades estarão classificadas segundo um critério apenas: tratamento.

FRANKE (1982) enumera algumas vantagens e desvantagens do DCC, estas encontram-se no Quadro 1.

QUADRO 1– Vantagens e desvantagens do DCC.

Vantagens	Desvantagens
É fácil de planejar e flexível quanto ao número de tratamentos e repetições.	Apropriado para um pequeno número de tratamentos e para um material experimental homogêneo.
O número de repetições pode variar de tratamento para tratamento.	Dado que a aleatorização é intrínseco o erro experimental inclui toda a variabilidade entre as unidades do experimento.
A análise de variância permite o máximo de graus de liberdade para o erro experimental	Número de unidades experimentais disponíveis.

Fonte: FRANKE 1982

– Delineamento em Blocos Casualizados

Conforme FEDERER (1977) em muitas situações experimentais é necessário planejar o experimento de maneira que as variabilidades provocadas por fontes perturbadoras conhecidas possam ser sistematicamente controladas, com o objetivo de melhorar a eficiência da análise a ser realizada. De acordo com o autor os experimentos em blocos

completamente aleatorizados são planejamentos experimentais nos quais parte desta variabilidade pode ser controlada.

Segundo BANZATTO & KRONKA (1989), os experimentos aleatorizados em blocos completos são muito utilizados na experimentação animal, pois são apropriados em numerosas situações facilmente detectadas na prática, tais como: sexo, idade, raça e peso. A característica, mais importante, desse delineamento é que todos os tratamentos se distribuem em cada unidade de bloco, devendo os blocos conter o mesmo número de tratamentos.

De acordo com STEEL & TORRIE (1990), quando se agrupam as unidades experimentais em blocos completos, onde cada bloco contém todos os tratamentos, de modo que a variação entre unidades dentro de um mesmo bloco seja menor que a variação em unidades em blocos diferentes, a precisão do experimento aumenta como resultado do controle do erro.

MIRANDA FILHO (1987) cita algumas vantagens e desvantagens do delineamento em blocos casualizados, (Quadro 2).

QUADRO 2 – Vantagens e desvantagens do DBC.

Vantagens	Desvantagens
Ao responder todas as UE de cada bloco a um nível diferente de uma fonte de variabilidade, ele permite eliminar a variabilidade total existente em todas as unidades da dita fonte.	Não é apropriado para um número elevado de tratamentos pois ele aumenta o tamanho do blocos, assim incrementa-se a variabilidade dentro de cada bloco.
Pode-se estimar os dados de algumas UE perdidas através da técnica de Yates.	Não é apropriado quando existe grande variabilidade do material experimental.

Fonte: MIRANDA FILHO, 1987.

– Delineamento em Quadrado Latino

Um delineamento experimental que apresente duas restrições na casualização possui as unidades experimentais agrupadas segundo dois critérios de desuniformidade. Dessa forma há formação de blocos em dois sentidos, denominados de filas e colunas. Conforme STORCK & LOPES (1998), esta forma de casualização resulta no delineamento experimental denominado quadrado latino.

De acordo com STORCK et al. (1994), o termo quadrado latino provém do fato de que os dois fatores de heterogeneidade têm o mesmo

número de níveis. Esse número de níveis é igual ao número de tratamentos e repetições e, assim sendo, o número de unidades experimentais é igual ao quadrado do número de tratamentos.

Conforme GILL (1979), o quadrado latino é muito usado para avaliar leitões individualmente. No delineamento as porcas funcionam como linha e os leitões, classificados em faixas de peso, como colunas. Desta forma, o experimento controla a variabilidade entre porcas e a variabilidade de leitões dentro da porca.

Segundo TRIVELIN (1974) o quadrado latino é um delineamento bem menos flexível que o de blocos casualizados e, do mesmo modo que este, o erro experimental pode aumentar com o tamanho do quadrado. Em vista disso os mais usados são aqueles de 3 a 8 tratamentos.

JOHN (1971) cita algumas vantagens e desvantagens do delineamento em quadrado latinos (DQL), (Quadro 3).

QUADRO 3 – Vantagens e desvantagens do DQL

Vantagens	Desvantagens
<p>Maior precisão que os desenhos DCC e DBC; diminui o erro experimental devido a considerar duas fontes de variação.</p>	<p>A igualdade de número de tratamentos e repetições, este desenho tem menos graus de liberdade para o erro experimental que DBC e DCC, diferença mais pronunciada à medida que diminui o número de tratamentos.</p>
<p>Análise numérica mais sensível.</p>	<p>Se existir interações entre os efeitos das fontes de variação (filas e colunas), então o valor de F não se distribui de acordo com o valor tabular de F e como consequência a prova de significância não é válida.</p>
<p>Perdendo-se todas as UE de um mesmo tratamento, o resto dos tratamentos seguem ajustados a um quadrado latino. Perdendo-se uma ou várias UE do mesmo tratamento, pode-se estimar seus valores.</p>	

Fonte: JOHN, 1971.

– Experimentos Fatoriais

Conforme ANDERSON & BANCROFT (1962), quando se estudam, simultaneamente, dois ou mais fatores, cada um com diferentes níveis, têm-se, os experimentos chamados fatoriais.

CAPPELLETTI (1992) atenta que os experimentos fatoriais não são desenhos experimentais, e sim um modo particular de combinar os níveis dos fatores em estudo. Sendo assim, um experimento fatorial pode ser arranjado em um delineamento completamente casualizado, em blocos, em quadrado latino, entre outros.

De acordo WERKEMA & AGUIAR (1996), em um arranjo fatorial cada réplica completa do experimento possui todas as combinações dos níveis dos fatores investigados. Dessa forma, se existem a níveis do fator A e b níveis do fator B , cada réplica contém todos os ab tratamentos.

NETO et al. (1996) comentam que uma das principais informações obtidas nos experimentos fatoriais é o estudo das interações. Através desta, verifica-se se as diferenças nas respostas dos níveis de um ou mais fatores são similares ou diferentes em todos os níveis do outro fator.

RIBOLDI (1995) cita algumas vantagens e desvantagens dos fatoriais, (Quadro 4).

QUADRO 4 – Vantagens e desvantagens dos fatoriais

Vantagens	Desvantagens
Maior eficiência no uso de recursos experimentais disponíveis, uma vez que permite tirar conclusões mais amplas a respeito dos fatores estudados simultaneamente.	Maior dificuldade na seleção de UE homogêneas, devido ao grande número de tratamentos.
Informação sobre interação de fatores.	Se houver um grande número de fatores a serem estudados: – dificuldade na escolha do delineamento experimental; – dificuldade de execução do experimento.
Maior precisão para estimativas de efeitos principais de fatores dada a existência de repetições não aparentes.	Certos tratamentos podem ser de pouco interesse e alguns recursos experimentais estariam sendo desperdiçados.

Fonte: RIBOLDI, 1995.

ANDERSON & BANCROFT (1962) relatam que o caso mais importante dos experimentos fatoriais é o da série 2^k (k fatores em 2 níveis). Conforme os autores, este tipo de fatorial é comumente utilizado

no estágio inicial do trabalho experimental, quando há muitos fatores a serem investigados.

LITTELL et al. (1991) relatam que os fatoriais da série 2^k proporcionam um número menor de tratamentos para ser estudados os k fatores. Isto ocorre porque existem apenas dois níveis para cada fator.

– Experimento em parcelas subdivididas

O esquema do experimento em parcelas subdivididas é apresentado, dentre outros, por KEMPTHORNE (1962) STEEL & TORRIE (1960), como sendo uma variação do experimento fatorial em T e T' tratamentos, onde os tratamentos T das parcelas são dispostos em qualquer tipo de delineamento, sendo os mais usados os em blocos casualizados e em quadrados latinos e os T' das subparcelas são dispostos ao acaso dentro de cada parcela.

SNEDECOR & COCHRAN (1967) apresentam considerações sobre o experimento em parcelas subdivididas, e mostram ser vantajoso seu uso, se os efeitos de T' e da interação T x T' são de maior interesse que os efeitos de T. Afirmam ainda que o aumento da precisão de T' e da interação T x T' se obtém mediante a redução da precisão de T.

CAPPELLETTI (1992), destaca algumas vantagens e desvantagem do experimento em parcelas, (Quadro 5).

QUADRO 5 – Vantagens e desvantagens do experimento em parcelas subdivididas.

Vantagens	Desvantagens
Permite dispor de parcelas grandes para o fator que esteja requerendo e simultaneamente permite experimentar outro fator combinado com o anterior.	Os efeitos dos tratamentos ensaiados nas subparcelas são determinados com maior precisão que os das parcelas principais.
Permite ensaiar dois fatores um dos quais, a critério do experimentador, é de importância relativa maior, então este deve ser colocado nas subparcelas.	O fator correspondente às parcelas principais está confundido com esta.

Fonte: CAPPELLETTI (1992)

2.3.1 Síntese

Através das considerações anteriores, verificaram-se alguns critérios para elaboração de um experimento, bem como os desenhos experimentais utilizados em pesquisas com suínos. Além disso, verificou-se que as soluções dos problemas estudados dependem das hipóteses formuladas, dos fatores e níveis escolhidos, da excelência dos delineamentos experimentais e da boa condução dos experimentos.

No entanto, para que a pesquisa seja completa a eleição da técnica adequada de análise estatística se faz de fundamental importância.

Sendo assim, a seguir serão apresentadas algumas abordagens de análise estatística aplicada aos desenhos experimentais abordados.

2.4 Análise Estatística

De acordo com FINNEY (1956), no momento da análise dos dados experimentais as hipóteses científicas, formuladas dentro da área em estudo, transformam-se em hipóteses estatísticas as quais serão testadas. Ao se estabelecer a hipótese de nulidade pressupõe-se que os tratamentos em competição não diferem, isto é, a população da qual eles surgiram é a mesma e qualquer variação é devida ao acaso.

VIEIRA & HOFFMANN (1989) recomendam que para o uso de uma estatística apropriada no desenho e análise de um experimento, é necessário que todos os envolvidos na experiência tenham uma idéia clara de exatamente o que será estudado, como os dados serão coletados, e uma compreensão qualitativa de como estes dados serão analisados.

– Análise de Variância

Conforme MARKUS (1973), na experimentação, são freqüentes as situações nas quais, em vez de dois, são vários os produtos ou processos que competem entre si. O problema consiste então na comparação de

mais de duas médias. Nestes casos a técnica indicada é a análise de variância.

Segundo ANDERSON & BANCROFT (1962), a análise de variância (ANOVA) é uma técnica algébrica que permite particionar a soma de quadrados dos desvios entre cada uma das “N” observações que compõem uma amostra, e as médias das mesmas, em número finito de somas de quadrados. Os mesmos autores atentam que o número de partição das somas de quadrados está diretamente relacionado com a estrutura do modelo estatístico utilizado para descrever a variável resposta.

Desta forma, a ANOVA divide a variação total dos dados nos seguintes componentes (DRUMOND et al. 1996):

- a variação relacionada com os tratamentos;
- a variação relacionada com causas controladas pelo delineamento experimental;
- a variação relacionada com o erro experimental.

JOHNSON & LEONE (1976) destacam algumas premissas que os dados deverão seguir para a análise de variância, sendo:

- a resposta que está sendo analisada deve ser de uma variável com distribuição normal de probabilidade;
- os tratamentos onde esta resposta está sendo medida devem apresentar variâncias iguais. Este princípio, conhecido como homocedasticidade, reconhece que a instabilidade de uma

variável não depende do grupo experimental onde ela está sendo medida.

O não cumprimento de uma dessas premissas compromete a análise de variância. Embora dados assim definidos possam ser analisados através de métodos não paramétricos ou por uma análise de variância após transformação de dados (DEMÉTRIO, 1978).

Toda a análise de variância de um experimento pressupõe um modelo matemático e aceitação de algumas hipóteses básicas. Assim, para o delineamento completamente casualizado, delineamento em blocos casualizados e quadrado latino, os modelos matemáticos encontram-se representados a seguir (MONTGOMERY 1990, WINER 1971, COCHRAN & COX 1978).

- Modelo matemático de um delineamento completamente casualizado

$$X_{ij} = \mu + \alpha_i + \varepsilon_{ij} \text{ onde:}$$

X_{ij} = observação j que recebeu o tratamento i;

μ = média geral ao redor da qual encontram-se todos os valores de todas as observações;

α_i = efeito do tratamento i;

ε_{ij} = erro experimental associado a observação X_{ij} .

- Modelo matemático de um delineamento em blocos casualizado

$$X_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \text{ onde:}$$

X_{ij} = observação correspondente ao tratamento i no j -ésimo bloco;

μ = média geral ao redor da qual encontram-se todos os valores de todas as observações;

α_i = efeito do tratamento i ;

β_j = efeito do j bloco

ε_{ij} = erro experimental associado a observação y_{ij} .

- Modelo matemático de um delineamento em quadrado latino

$$x_{ij(k)} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \tau_{(k)} + \varepsilon_{ij(k)}$$

onde:

$x_{ij(k)}$ = é a resposta do k -ésimo tratamento localizado na interação da i -ésima fila e a j -ésima coluna;

μ = média geral;

α_i = efeito da i -ésima linha;

β_j = efeito da j -ésima coluna;

$\tau_{(k)}$ = efeito da k -ésima coluna;

$\varepsilon_{ij(k)}$ = erro experimental com variância σ^2 constante e média $\mu_i = 0$.

As hipóteses para aceitação dos modelos são:

- que os diversos efeitos sejam aditivos;

- que os erros ε_{ij} são independentes, de onde resulta que não são correlacionados;
- que os erros ε_{ij} têm distribuição normal com variância σ^2 constante e média $\mu_i = 0$.

- Modelo matemático de um arranjo fatorial arranjo 2^2 .

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

onde:

- Y_{ijk} = resposta da k -ésima observação quando o fator A esta no i -ésimo nível e o fator B no j -ésimo nível;
- μ = média geral dos efeitos;
- τ_i = efeito do i -ésimo nível do fator A ;
- β_j = efeito do j -ésimo nível do fator B ;
- $\tau\beta_{ij}$ = efeito da interação do entre o i -ésimo nível do fator A e o j -ésimo nível do fator B ;
- ε_{ijk} = erro aleatório associado a observação Y_{ijk} .

As causas de variação na ANOVA são representadas em um “Quadro de Análise de Variância” sendo a variação total dos dados parquionada conforme o desenho experimental (GOMES, 1990). Desta forma, para o caso mais simples de desenho experimental o DCC tem-se o Quadro 6.

QUADRO 6 – Quadro de análise de variância para um DCC.

Fonte de variação	G.L.*	S.Q.*	Q.M.*	F _{calculado}
Tratamento	$\alpha - 1$	$\frac{\sum X_{i..}^2}{r} - F.C.$	$\frac{S.Q_{tratamento}}{\alpha - 1} = A$	$\frac{A}{B}$
Erro experimental	$\alpha (r-1)$	diferença	$\frac{S.Q_{erro}}{\alpha(r-1)} = B$	
Total	$\alpha r - 1$	$\sum X_{ij}^2 - F.C.$		

*GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; Q.M. = quadrados médios.

**FC = fator de correção

Interpretação prática dos componentes do quadro de ANOVA

α = número de tratamentos $i = 1, \dots, \alpha$ tratamentos.

r = número de repetições $j = 1, 2, \dots, r$ repetições.

G.L.= representa número de comparação independentes que serão feitas.

$$F.C. = \frac{\sum (X_{ij})^2}{\alpha \cdot r}$$

$$S.Q_{erro} = S.Q_{total} - S.Q_{tratamento}$$

A hipótese de nulidade que será testada na ANOVA refere-se aos tratamentos em questão, onde enuncia-se que não há diferença significativa entre as médias destes. Para testar tal hipótese usa-se o Teste

F, cuja lógica é comparar o F calculado na ANOVA com o que dado na tabela. Se o F calculado for maior que o tabelado a um determinado nível de significância diferença é dita significativa (MARKUS, 1973 & GOMES, 1982).

STORCK et al (1994) comentam que, no delineamento em blocos ao acaso, o teste de hipóteses sobre a variâncias de blocos em geral, não há interesse em testá-lo. No entanto se a variância entre blocos for significativa o uso de bloqueamento se fez necessário. Por outro lado, se a variância entre blocos for não significativa provavelmente as unidades experimentais são essencialmente homogêneas e não haveria necessidade de bloqueamento ou os blocos não foram organizados corretamente.

Após a realização da ANOVA, sendo o valor do teste F significativo é necessário realizar um teste de comparação múltipla para verificar a magnitude das diferenças entre os tratamentos (KEMPTHORNE, 1962).

Segundo KALIL (1977) são vários os testes que podem ser usados, o mais simples é o teste das diferenças mínimas (DMS), recomendado quando houver poucos pares de média para serem comparados.

Conforme FRANKE (1982) os testes Tukey, Dunca, Dunet e Scheffé são métodos mais conservadores pelos quais as diferenças obtidas numa determinada série de comparações são em número menor que as obtidas pela técnica do DMS. O teste de Scheffé é especialmente utilizado quando o número de repetições por tratamento for diferente. Já o teste de Dunet é utilizado para verificar se há diferença significativa

dos tratamentos, comparando com um controle, sem interessar as comparações entre os tratamentos (JOHN, 1971).

– Análise de Regressão

Em muitos estudos experimentais são utilizados tratamentos que variam apenas no nível do fator em estudo. Como exemplo cita-se um ensaio para avaliação do desempenho de um animal quando os tratamentos consistem na mesma ração com diferentes níveis de fibra (PENG, 1967). Neste sentido, SEBER (1977) relata que, quando a associação entre variáveis, quantitativas, se manifestar por dependência de uma em relação a outra constitui-se um caso de análise de regressão.

Para os estudos de regressão interessam principalmente os casos em que a variação de um atributo dependente da variação de um segundo atributo. Diz-se que uma das variáveis é dependente (variável Y) e outra independente (variável X). A relação existente entre as duas variáveis é descrita por um modelo matemático e graficamente por uma curva de regressão JHONSON & LEONE (1976).

De acordo com STEEL & TORRIE (1990), a forma da equação que caracteriza a relação entre as variáveis dá o nome da equação; assim uma equação linear descreve uma relação linear, uma parábola descreve uma relação parabólica e assim por diante.

O modelo matemático, ou modelo probabilístico, empregado na análise de regressão é composto por três partes, uma que diz respeito às

variáveis, outra aos parâmetros, e outra ao erro de estimativa. Dessa forma o modelo pode ser representado por $Y = \beta x_i + \varepsilon_i$, em que no Y , os valores da variável dependente são função de um conjunto de parâmetros β , de um conjunto de variáveis independentes X , e de erros aleatório ε_i , (IEMMA, 1985).

Para aplicação do modelo de regressão linear simples $Y_i = \alpha + \beta x_i + \varepsilon_i$ e a estimação dos parâmetros pelo método dos mínimos quadrados é necessário observar certas pressuposições, sendo estas (FONSECA et al, 1991):

- a relação entre X e Y é linear (os acréscimos/decrécimo em X produzem acréscimos/decrécimo proporcionais em Y e a razão de crescimento é constante);
- os valores de X são fixados arbitrariamente (X não é uma variável aleatória);
- Y é uma variável aleatória que depende entre outras coisas dos valores de X ;
- ε_i é o erro aleatório, portanto uma variável aleatória com distribuição normal, com média zero e variância σ^2 . [$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$]. ε_i representa a variação de Y que não é explicada pela variável independente X ;
- os erros são considerados independentes.

As estimativas dos parâmetros α e β dadas por “a” e “b” serão obtidas a partir do método dos mínimos quadrados que consiste em

adotar como estimativa dos parâmetros os valores que minimizem a soma dos quadrados dos desvios.

A estatística por $r^2 = \frac{\text{SQ. Regressão}}{\text{SQ. Total}}$, e denominada coeficiente de determinação, indica a proporção ou percentagem da variação de Y que é “explicada” pela regressão.

Note que $0 \leq r^2 \leq 1$.

– Análise multivariada aplicada a dados longitudinais

De acordo com CLEMENTE (1990), a análise estatística multivariada é um conjunto de técnicas que permitem o manuseio simultâneo de dezenas e até centenas de variáveis, de modo a lhes extrair o conteúdo de informação, mesmo nos casos em que não se dispõe de antemão de um modelo teórico rigorosamente estruturado a respeito das relações entre essas variáveis.

Conforme SAIBT (1995), dois enfoques têm sido discutidos na literatura para análise de medidas repetidas sobre unidades experimentais. Um que adota procedimentos univariados, considerando as observações como subdivisão das parcelas, ou seja, em subparcelas. O outro método utiliza procedimentos multivariados, que considera as observações sobre cada unidade experimental como um vetor de observações.

Conforme FINNEY (1962) & GILL (1979), nem sempre um experimento planejado para ser analisado por métodos univariados

poderá ser analisado por técnicas multivariadas, pois essas também têm suas limitações e certas pressuposições que precisam ser respeitadas. É preciso ter o cuidado de que o simples fato de se avaliar diversas variáveis num experimento não quer dizer que a análise multivariada, se for aplicável, deva incluir todas, daí a importância de se conhecer profundamente o fenômeno que está sendo estudado

Segundo RESENDE et al (1999), existem muitos trabalhos na área zootécnica, nos quais as unidades experimentais são animais ou plantas forrageiras que são sujeitos a medidas repetidas não aleatorizada no tempo. Nestes experimentos, a obtenção dos dados geralmente é feita através de um planejamento longitudinal, que consiste em observar cada unidade experimental em todas as ocasiões determinadas pelo estudo (LIMA, 1988). A principal razão para se realizar experimentos dessa natureza é a suspeita de que os efeitos dos tratamentos em uma seqüência de tempo se alteram (GILL, 1979).

De acordo com RESENDE et al (1999), quando se trabalha com dados longitudinais a interação época x tratamento é possivelmente o mais importante aspecto do experimento, e quando significativa, indica uma tendência não paralela da resposta em relação ao tempo para diferentes níveis de tratamentos.

Conforme ROSA et al (1996), o planejamento longitudinal proporciona economia de unidades experimentais, pois cada uma delas pode gerar diversas unidades de observação.

VONESH & CHINCHILLI (1997) comentam que o uso de medidas repetidas, tomadas no tempo para análise de experimentos em que os dados são provenientes de variáveis biológicas, aumenta a precisão das análises e reduz o número de repetições necessárias, dessa forma reduzindo significativamente o custo experimental.

Segundo JHONSON & WICHERN (1988), os experimentos com dados longitudinais violam duas pressuposições básicas requeridas pela análise de variância: a falta de casualização entre os tratamentos e as épocas de avaliação; a não independência de erros devido ao fato de as medidas serem tomadas sobre as mesmas parcelas ao longo do tempo.

2.4.1 Síntese

No desenrolar desta seção foi, possível verificar algumas abordagens de análise estatística aplicadas a experimentos envolvendo níveis nutricionais para suínos. Neste sentido, é importante ressaltar, para que o uso de cada abordagem seja válido uma série de pressuposições devem ser atendidas, caso contrário as conclusões poderão ficar comprometidas, mesmo que a escolha do desenho experimental e a condução do experimento tenham sido realizadas com rigor.

3 MATERIAL E MÉTODOS

A seguir será discorrido sobre os materiais e as metodologias utilizadas para obtenção dos valores referentes às variáveis ganho de peso, consumo de ração, conversão alimentar e custo do leitão, durante processo de produção de suínos em fase de creche.

3.1 Material

Os dados utilizados neste trabalho foram oriundos de um experimento conduzido no Setor de Suinocultura do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Santa Maria, RS. Foram estudados 75 leitões com 21 dias de idade, recém desmamados, durante 7 semanas. Os animais eram geneticamente homogêneos obtidos do cruzamento comercial de fêmeas F1 (Largewite x Landrace) e macho Duroc.

Os leitões foram alojados em 25 baias creche elevadas, com dimensões individuais de 1,50 x 1,37 x 0,80 m, com piso parcialmente vazado (50% madeira e 50% plástico vazado), providos de comedouros semi-automáticos e bebedouros do tipo concha. A sala creche dispõe de cortinas em ambas as laterais para auxílio no controle da temperatura; cada baia possui uma fonte de aquecimento suplementar através de uma lâmpada de 150 watts.

Os ingredientes utilizados nas formulações das rações experimentais foram: farelo de milho farelo de soja, óleo vegetal, amamenta, sal (Nacl), Prêmix vitamínico – mineral e aminoácidos sintéticos (metionina, lisina, triptofano).

As proporções dos ingredientes variaram conforme as exigências dos tratamentos.

3.2 Métodos

– Execução do experimento

Durante a execução do experimento, os animais foram pesados no início, durante intervalos de sete dias e no final do experimento. Assim foram tomadas sete medidas para cada variável de estado, em instantes sucessivos de tempo que corresponderam ao período de produção (42 dias) em que os animais se encontravam na creche.

Desta forma, geraram-se dados numéricos para as variáveis de estado (peso vivo, consumo, conversão alimentar e custo do quilo vivo). Sendo estas obtidas em função das variáveis de controle: idade (medida em dias), níveis nutricionais de proteína bruta (PB), (medido em percentagem) presente na ração e níveis nutricionais de energia digestível (ED), (medidas em kcal ED/kg).

– Delineamento experimental

O delineamento utilizado foi inteiramente causalidade, sendo as fontes de variação os níveis de PB e ED. Estes níveis foram dispostos em esquema fatorial (dois fatores com cinco níveis cada) desta forma resultaram 25 tratamentos. A unidade experimental empregada foi a baía com três animais.

Os tratamentos desenvolvidos no experimento encontram-se no Quadro 7.

QUADRO 7 - Tratamentos desenvolvidos no experimento.

PB%	kcal ED/kg				
	3325	3400	3475	3550	3625
16	T1	T6	T11	T16	T21
18	T2	T7	T12	T17	T22
20	T3	T8	T13	T18	T23
22	T4	T9	T14	T19	T24
24	T5	T10	T15	T20	T25

– Análise estatística dos dados

Para análise dos dados utilizaram-se os pacotes estatísticos SAS e SAEG, para micro – computador pessoal.

A metodologia de análise seguiu o seguinte esquema:

- i. Inicialmente realizou-se uma análise de variância com os resultados obtidos no final do período de creche. O modelo foi inteiramente casualizado em esquema fatorial. Na ANOVA não foi possível considerar as interações entre fatores, pois os dados correspondiam apenas às médias de cada tratamento. Sendo assim, não houve graus de liberdade para o cálculo das interações.

Modelo matemático:

$$Y_{ij} = \mu + PB_i + ED_j + (PB*ED)_{ij} + \varepsilon_{ij}$$

onde:

Y_{ij} = resposta observação submetida ao i -ésimo nível de PB e j -ésimo nível de ED ;

μ = média geral dos efeitos;

PB_i = efeito do i -ésimo de PB

ED_j = efeito do j -ésimo nível ED

$PB*ED_{ij}$ = efeito da interação entre o do i -ésimo de PB e o j -ésimo nível ED

ε_{ij} = erro aleatório associado a observação Y_{ij} .

- ii. Análise de variância para um modelo inteiramente casualizado em esquema fatorial para cada período. Para as comparações entre as médias foi utilizado o teste de Tukey.
- iii. Análise de variância em um modelo de parcelas subdivididas onde as parcelas (unidade primária) são os níveis de energia e proteína e as subparcelas (unidade secundária) os períodos. O teste de Tukey foi utilizado para comparações entre médias.

Modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + PB_i + ED_j + tempo_k + (PB*ED)_{ij} + d_{ijk} + (PB*tempo)_{ik} + (ED*tempo)_{jk} + \varepsilon_{ijk}$$

onde:

Y_{ijk} = resposta da observação submetida ao i -ésimo nível de PB e j -ésimo nível de ED no período k

μ = média geral dos efeitos;

PB_i = efeito do i -ésimo de PB

ED_j = efeito do j -ésimo nível ED

$tempo_k$ = efeito do período k

$(PB*ED)_{ij}$ = efeito da interação entre o do i -ésimo de PB e o j -ésimo nível ED

d_{ijk} = erro aleatório associado a parcela principal

$(PB*tempo)_{ik}$ = efeito da interação do i -ésimo nível de PB com o período k

$(ED*tempo)_{jk}$ = efeito da interação i -ésimo nível de ED com período k

ε_{ij} = erro aleatório total

- iv. Análise Multivariada aplicada a dados longitudinais, em função das variáveis de controle (níveis de PB e ED) com ajuste polinomial para a idade. Através da metodologia proposta por POTTHOFF & ROY (1964).
- v. Análise de curvas de crescimento através de regressão, será realizada em duas etapas.
- os modelos que apresentarem significância para interação entre idade e uma das variáveis de controle serão ajustados os modelos de regressão polinomiais das variáveis de estado (consumo, conversão alimentar e ganho de peso) em função da idade para os diferentes níveis de PB ou ED.

Modelo matemático

$$Y_j = \beta p + \varepsilon \quad \text{onde}$$

Y_j = variável de estado ajustada para cada um dos j tratamentos
onde $j = 1, \dots, 25$

β = parâmetros da regressão

p = períodos onde $p = 35, \dots, 70$ (dias)

ε = desvio entre o valor estimado e o valor esperado

- serão ajustados modelos polinomiais de regressão para as variáveis de estado em função dos níveis de PB e ED dentro de cada um dos períodos amostrais.

Modelo matemático

$$Y_i = \beta_i x + \varepsilon \quad \text{onde:}$$

Y_i = variável de estado ajustada para período i

Onde: $i = 35 \dots \dots \dots 70$ (dias)

β_i = parâmetros da regressão dentro do período i

x = níveis de PB e ou ED

ε = desvio entre o valor estimado e o valor esperado

- Análise Bioeconômica

A análise bioeconômica será realizada através do modelo de otimização dado por:

$$\text{Max } \sum_p (L_p), \text{ para } p = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \text{ e } 7$$

SR.

$$L_p = f_p(x_{1i}; x_{2j}) R_p - (f_p(x_{1i}; x_{2j}) * g_p(x_{1i}; x_{2j}) * C_{ij})$$

$$16 < i < 24$$

$$3325 < j < 3625$$

em que:

$f_p(x_{1i}; x_{2j})$ = Valor da variável ganho de peso para o período p expresso como função linear da variável x_1 no nível i e da variável x_2 no nível j .

$g_p(x_{1i}; x_{2j})$ = Valor da variável conversão alimentar para o período p expresso como função da variável x_1 no nível i e da variável x_2 no nível j .

R_p = Preço pago por um quilo vivo de leitão.

C_{ij} = Custo de um quilo de ração produzida para os níveis i e j de x_1 e x_2 .