

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO

PUC-SP

Gláucia Laís Salomão

Registros vocais no canto:

**aspectos perceptivos, acústicos, aerodinâmicos e fisiológicos
da voz modal e da voz de falsete**

**DOUTORADO EM LINGUÍSTICA APLICADA
E ESTUDOS DA LINGUAGEM**

SÃO PAULO

2008

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE SÃO PAULO

PUC-SP

Gláucia Laís Salomão

Registros vocais no canto:

aspectos perceptivos, acústicos, aerodinâmicos e fisiológicos

da voz modal e da voz de falsete

**Tese apresentada à Banca Examinadora como
exigência parcial para obtenção do título de Doutor em
Linguística Aplicada e Estudos da Linguagem pela
Pontifícia Universidade Católica de São Paulo sob a
orientação da Prof^a Doutora Sandra Madureira**

DOUTORADO EM LINGUÍSTICA APLICADA

E ESTUDOS DA LINGUAGEM

SÃO PAULO

2008

Banca Examinadora

Ao meu pai
(in memoriam)

Agradecimento Especial

Ao Professor Johan Sundberg,

**por me receber como orientanda e por se envolver com o meu trabalho,
por proporcionar momentos de rica discussão sobre a ciência da voz cantada,
pelas incontáveis contribuições para o desenvolvimento dessa tese,
por compartilhar seu prazer em fazer pesquisa,
prazer quase estético, como quem fizesse arte.**

Agradecimentos

À minha orientadora professora Sandra Madureira, pelo incentivo e apoio no desenvolvimento dessa pesquisa.

À professora Aglael Gama Rossi, pelo convite e estímulo ao início desse trabalho.

À professora Zuleica Antonia de Camargo, pelas sugestões que me deu quanto essa pesquisa era ainda um projeto.

Ao cantor lírico Jarbas Taurino, por se dispor a realizar comigo as primeiras (e diversas) gravações para investigação dos procedimentos mais adequados à futura coleta de dados.

À cantora lírica Marta Dalila, por sua competência em proporcionar em suas aulas a oportunidade de vivenciar o lado que vivencia cantor.

Aos coralistas do Coral do Estado de São Paulo, pela preciosa participação nessa pesquisa.

Ao maestro Sergio Igor Chnee por me ensinar os princípios da regência coral.

Ao maestro Roberto Farias por me ensinar os princípios da regência orquestral e me incentivar em minha trajetória nesse trabalho.

Ao CEFAC – Saúde e Educação, pelo empréstimo do eletroglotógrafo para a coleta de dados.

Ao técnico de gravação Ernesto Luis Foshi, do Laboratório de Rádio da COMFIL, pela pronta ajuda na gravação dos cantores.

À amiga Sabrina Cukier, pela inestimável ajuda na coleta dos dados de eletroglotografia.

Aos colegas de turma da pós-graduação no LAEL, em especial à Isabel Viola, Midori Hanayama, Cláudia Cotes e Maria Teresa Bonatto, pela amizade e companheirismo.

Ao colega Sérgio Augusto Mauad, pela importante ajuda no inglês.

A todo o grupo do *Speech, Music and Hearing Department* (TMH) do *Royal Institute of Technology* (KTH), por proporcionar ambiente tão acolhedor durante todo o período em que estive em Estocolmo:

Sten Ternström, por ter me recebido no Departamento;

Eva Björkner, por sua recepção amigável e carinhosa, por seu abraço, por nossas conversas no “aquário”, conversas sobre canto, filtragem inversa e tanto mais...;

Anna de Witt, por sua risada, amizade e alegria;

Roberto Bresin, pela companhia vizinha no “corredor”, por seu senso de humor;

Marco Fabiani, pelos deliciosos jantares italianos;

Kahl Hellmer, por me ensinar um pouco de sueco;

Kjetil Hansen, por preocupar-se comigo no inverno sueco;

Svante Granqvist, pelas explicações sobre os seus *softwares* para análises do som vocal, e pela plantinha com a qual enfeitou o “aquário”;

À Elizabeth Keller, por sua preciosa companhia em português.

Aos amigos para toda a hora: Luciane Borges, Antonio Macchi III, Jose Sterling e Julien Grunfelder, pela deliciosa amizade que se iniciou em Estocolmo.

À professora Mara Behlau, pelo incentivo ao meu trabalho, mesmo à distância.

Ao professor Leonardo Fuks, pela companhia divertida em Estocolmo (e por suas explicações sobre derivada).

Ao professor Mario Fontes, pelas conversas e explicações sobre os assuntos que pertencem à área das ciências exatas.

Ao amigo Isaías Santos, pelas conversas sobre filosofia e pela paciência nas aulas de francês.

À professora Yara Castro, pela importante assessoria na análise estatística.

Aos amigos do coração Vânia Bandoni Sanches, Cibeles Brugnera, Sônia Namorato Platero e Marco Cruz, por se manterem próximos na fase final desse trabalho.

À Rosely Bittar, pelo exemplo de seriedade e sensibilidade no trabalho como médica e pesquisadora, por sua amizade.

Ao Eduardo do Carmo Amorim, pelo companheirismo, incentivo e apoio aos meus projetos, e pelas longas conversas e incursões no mundo da música, da filosofia e das ciências exatas.

À minha irmã querida, Miriam Taís Salomão, por suas explicações sobre estatística.

À minha querida mãe, Ida Ribeiro Salomão, pela ajuda na formatação do meu trabalho.

Ao Henrik Nilsson, raio de sol intenso e delicado, por ser parceiro e dividir comigo idéias, risos e sorrisos, por sua companhia e apoio incondicionais na etapa final deste trabalho.

À minha família, apoio e referência fundamentais em minha história de vida:

meus irmãos, Paulo Lísias Salomão, Marcos Eli Salomão e Miriam Taís Salomão, por compartilharem comigo a alegria de conviver em família;

minha mãe, dona Idinha, por seu exemplo de disposição e vitalidade;

meu pai, Luiz Carlos Salomão, que estimulou e acompanhou orgulhoso o início desta trajetória, pelo exemplo de dedicação à ciência, de inteligência e sensibilidade, de idealismo e dignidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior (CAPES),
pelo auxílio financeiro.

Resumo

O objetivo desta pesquisa foi o de investigar as relações entre a produção e a percepção dos registros vocais modal e de falsete em emissões de cantores de coral do sexo masculino. Foram analisadas 104 emissões, 52 cantadas no registro modal e 52 cantadas no registro de falsete. Os dados para análise da produção dos registros vocais foram obtidos por meio da filtragem inversa do sinal acústico e da eletroglotografia. As seguintes medidas foram extraídas: Freqüência Fundamental (F0), duração da Fase Fechada, Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar e Amplitude da Corrente Alternada. Foram também calculados: o Quociente Fechado, o Quociente da Amplitude Normalizada e a diferença entre os níveis de intensidade dos dois primeiros harmônicos no espectro da fonte glótica ($H1 - H2$). Os resultados obtidos mostraram diferenças claras e sistemáticas entre os registros modal e de falsete. Os valores obtidos para o Quociente Fechado, para a Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar e para a Amplitude da Corrente Alternada foram predominantemente maiores no registro modal do que no registro de falsete. Os valores de $H1 - H2$ e do Quociente da Amplitude Normalizada, por outro lado, foram maiores no registro de falsete do que no registro modal. Os dados para análise da percepção dos registros vocais foram obtidos a partir de um teste perceptivo de escolha forçada. O número de votos para o registro modal foi comparado com os valores obtidos para os parâmetros acústicos glotais. Os resultados mostraram que tons com valores maiores de Quociente Fechado, e valores menores de $H1 - H2$ e de Quociente da Amplitude Normalizada foram tipicamente associados com maior número de votos para o registro de modal, e vice-versa. Os resultados sugerem a existência de uma gradiência sonora na dimensão das manifestações acústicas relacionadas aos registros vocais com características percebidas como tanto mais diferenciadas quanto mais distanciadas nesse contínuo.

Palavras chaves: voz cantada, registros vocais, fonte glótica, percepção.

Abstract

The purpose of this study was to investigate the relationship between the production and the perception of the modal and falsetto's registers in tones sang by male choir singers. 104 tones were analyzed, 52 sang in modal register, 52 sang in falsetto register. The data for the analyses of the vocal registers production were obtained by means of inverse filtering of the sound irradiated from the mouth and by means of the electroglottography. The following measures were extracted: Fundamental Frequency (F0), duration of the Closed Phase, Maximum Flow Declination Rate, and Amplitude of the Alternating Current. Also, the following measures were calculated: Closed Quotient, Normalized Amplitude Quotient and level difference between the two lowest partials in the glottal source spectrum (H1 – H2). The results showed clear differences between the modal and the falsetto registers. The values found for the Closed Quotient, the Maximum Flow Declination Rate and the Alternating Current Amplitude were predominantly greater in the modal than in the falsetto register. The Maximum Flow Declination Rate and H1 – H2 values, on the other hand, were greater in the falsetto register than in the modal. The correlation analysis of the acoustical parameters showed a clear covariation between the Closed Quotient, the H1 – H2 values, the Normalized Amplitude Quotient and Maximum Flow Declination Rate. The data for the analyses of the vocal registers perception were obtained from a forced choice test. The number of votes for modal was compared with the voice source parameters values. The results showed that tones with high values of Closed Quotient and low values of H1 – H2 and of Normalized Quotient Amplitude were typically associated with higher number of votes to the modal register, and vice-versa. Our results suggest that the acoustic manifestations of the phonatory dimension related to the vocal registers are gradient and its perceived characteristics are as much distinct as they are wider apart in the continuous.

Key words: *singing voice, vocal registers, voice-source, perception.*

Sumário

Dedicatória.....	iv
Agradecimento Especial.....	v
Agradecimentos.....	vi
Resumo.....	x
Abstract.....	xii
 Introdução.....	 1
 1. Evolução do conhecimento sobre os registros vocais.....	 14
1.1. O enigma da produção da voz.....	14
1.2. Os registros vocais na arte e na ciência.....	16
1.3. Descrições metafóricas e científicas da voz: a polêmica nomenclatura dos registros vocais.....	28
 2. A abordagem dos registros vocais.....	 41
2.1. Aspectos perceptivos.....	41
2.2. Aspectos fisiológicos.....	48
2.3. Aspectos aerodinâmicos e acústicos.....	79
 3. Técnicas para investigação da fonte glótica.....	 89
3.1. Eletroglotografia.....	89

3.2. Filtragem inversa.....	93
3.3. O uso combinado da eletroglotografia e da filtragem inversa.....	97
4. Primeiro estudo: diferenças na fonte glótica nos registros modal e de falsete em cantores de coral do sexo masculino.....	100
4.1. Material e método.....	100
4.1.1. Sujeitos.....	100
4.1.2. Procedimentos para gravação.....	102
4.1.3. Protocolo.....	102
4.2. Análise.....	103
4.3. Resultados.....	114
4.4. Conclusões.....	124
5. Segundo estudo: relações entre percepção dos registros vocais e parâmetros acústicos da fonte glótica.....	125
5.1. Material e método.....	126
5.2. Resultados.....	128
5.2.1. Avaliação Perceptiva.....	128
5.2.2. Relações entre a classificação dos registros e dados acústicos.....	131
5.3. Conclusões.....	132
6. Relações produção e percepção nos registros vocais modal e de falsete.....	134

7. Considerações Finais.....	161
Referências Bibliográficas.....	165

INTRODUÇÃO

A origem do canto se confunde com a origem da fala. Segundo Klaus Scherer (1991), é possível que as origens da música e da fala estejam essencialmente relacionadas à necessidade universal de externalização do afeto e da emoção. A vocalização constituiria, por assim dizer, um dos caminhos pelos quais tal externalização se efetivaria.

Se o canto pode ser considerado uma linguagem antiga e universal, se ele em sua essência carrega marcas fortes de emoção, e se talvez até mesmo possa dissolver certas barreiras culturais, nada mais natural do que questionar como ele acontece e como ele pode ser descrito.

Mesmo nas manifestações mais distintas da voz cantada, mais ou menos refinadas em termos dos mecanismos de produção vocal envolvidos, é basicamente por meio da dinâmica e da qualidade da voz que a emoção é manifesta.

Pitch, *loudness* e duração constituem aspectos da dinâmica da voz falada ou cantada que podem ser explorados e utilizados como recurso expressivo. Tais aspectos estabelecem correlações relativamente claras com parâmetros físicos específicos, no geral passíveis de quantificação. Talvez por isso mesmo a representação de muitos dos aspectos da dinâmica da voz numa partitura musical, por exemplo, seja consideravelmente precisa, principalmente quando se trata do *pitch* e da duração.

O mesmo não acontece, contudo, quando se trata da representação da qualidade (ou timbre) da voz cantada. Esta dimensão do som vocal se apresenta na fala ou no canto como uma mescla de características da qualidade das vogais da língua e do texto, e de características vocais “quase permanentes” diretamente relacionadas ao aparato anátomo-funcional do indivíduo e aos ajustes musculares de longo termo realizados por ele de modo inconsciente, adquiridos idiossincraticamente ou por imitação social (Laver, 1968).

Na literatura fonética, a investigação dos correlatos acústicos, fisiológicos e aerodinâmicos da qualidade da vocal, ao contrário dos aspectos da dinâmica da voz, não apresenta longa tradição.

Aparentemente os aspectos que determinam a qualidade da voz que o ser humano produz são comparativamente mais difíceis de serem delimitados e quantificados do que os aspectos que determinam a dinâmica da voz, quais sejam o *pitch*, a *loudness* e a duração.

E assim, quando se trata da qualidade da voz no canto, não raro um dos aspectos mais abordados, questionados e polemizados constitui justamente o que diz respeito aos registros da voz, ou seja, à variação da qualidade da voz que acontece em função da variação da altura tonal.

Os registros vocais constituem fenômeno bastante conhecido tanto na prática da voz cantada e em situações específicas da fala, como na prática clínica voltada para a reabilitação dos distúrbios da voz.

Na prática da voz cantada, cantores, professores de canto e regentes de corais há muito fazem referências a “quebras” na qualidade da voz quando notas musicais consecutivas são produzidas em regiões específicas de *pitch*. Tais “quebras”, ou modificações abruptas na qualidade vocal, podem ser percebidas auditivamente e, segundo os cantores, são normalmente associadas a uma sensação sinestésica relativamente difusa de mudança de ajustes musculares na laringe. Modificações dessa natureza podem acontecer, por exemplo, no canto de peças musicais que envolvam faixas extensas de *pitch*, normalmente mais amplas do que a da fala, ou mesmo que envolvam notas musicais localizadas justamente nas regiões onde estas quebras tipicamente ocorrem.

Mudanças súbitas na qualidade da voz podem também ocorrer em situações específicas da prática da voz falada. Por exemplo, atores que no processo de construção da personagem optem por trabalhar com uma fala expressiva que envolva faixas de *pitch* bastante amplas podem eventualmente experimentar mudanças bruscas na qualidade de voz relacionadas às variações tonais.

Finalmente, na prática clínica voltada para a reabilitação dos distúrbios da voz, pacientes podem trazer como possível queixa a ocorrência de mudanças involuntárias (e indesejadas) entre os diferentes registros vocais. Tais mudanças normalmente constituem manifestação importante de determinadas patologias da voz. O uso divergente de registros, o falsete de conversão, as alterações na muda vocal, além de certos transtornos vocais neurológicos constituem exemplos de patologias que apresentam sintomas dessa natureza.

No âmbito das ciências da voz, o interesse pela compreensão dos diversos aspectos envolvidos na produção e percepção dos registros vocais é relativamente antigo, como será visto no capítulo que se seguirá. De qualquer modo, o século XIX, em particular, trouxe consigo um marco importante quando se trata da evolução do conhecimento científico relativo aos registros vocais. Este marco é representado pelo professor de canto Manuel Garcia II (1805 – 1906) que conseguiu observar as pregas vocais na situação do canto, pela utilização de um laringoscópio bastante rudimentar. Com base em suas observações, Garcia apresentou diante da comunidade científica a seguinte definição de registros vocais: “uma série de tons consecutivos e homogêneos que vão da região mais grave até a mais aguda de *pitch*, produzido pelo mesmo princípio mecânico, cuja natureza difere essencialmente de outras séries de tons, igualmente consecutivos e homogêneos, produzidos por outro princípio mecânico” (Garcia, 1847).

O grande avanço tecnológico ocorrido desde então, e principalmente a partir da sua segunda metade do século XX, trouxe consigo o desenvolvimento de novas técnicas experimentais, de grande valia para os estudos científicos das propriedades acústicas, aerodinâmicas e fisiológicas da voz.

À luz das novas tecnologias, a definição pioneira sugerida por Garcia sofreu evidentemente reformulações. A idéia da existência de diferentes princípios mecânicos subjacentes aos diferentes registros vocais, no entanto, prevaleceu no decorrer dos anos. E foi assim que, em 1974, o cientista da voz Harry Hollien definiu registro vocal como: “um evento totalmente laríngeo” que “deve ser operacionalmente definido em termos: 1. perceptuais; 2. acústicos; 3. fisiológicos; 4. aerodinâmicos” (Hollien, 1974).

A quantidade de estudos científicos a respeito dos registros vocais aumentou consideravelmente a partir da década de 70. Ainda assim, pontos importantes que dizem respeito aos diversos aspectos relacionados aos registros da voz permaneceram e permanecem ainda hoje bastante polêmicos no contexto da comunidade científica.

A nomenclatura, sem dúvida, constitui um destes pontos, conforme será explorado no primeiro capítulo desta tese. Morner *et al* (1964) enumerou mais de cem diferentes nomes para os registros vocais. É como se a cada nova investigação da voz novos termos fossem introduzidos, e não seria pouco provável, portanto, encontrar termos diferentes utilizados para fazer referência a um mesmo registro.

Outro ponto importante de divergência, subjacente à questão da nomenclatura, se refere à determinação exata de quais as discontinuidades na qualidade de voz devem ser consideradas como significativas, dentro do contínuo de *pitch*, na delimitação das diferentes categorias que corresponderiam aos diferentes registros vocais.

Esse segundo ponto, por sua vez, está diretamente relacionado à questão da origem dos registros vocais, também motivo de polêmica entre os pesquisadores. O que ocorre, mais especificamente, é que alguns autores consideram que o termo “registro vocal” deva ser utilizado para nomear apenas eventos originados exclusivamente na laringe, enquanto outros acreditam que esse mesmo termo possa ser utilizado para designar quaisquer discontinuidades na qualidade da voz que ocorram no decorrer do contínuo de *pitch* e *loudness* da tessitura vocal, sejam elas originadas na laringe, e

usualmente mais evidentes do ponto de vista perceptivo, sejam elas associadas às ressonâncias do trato vocal, e usualmente mais sutis do ponto de vista perceptivo.

Existem também, e evidentemente, pontos importantes de concordância entre os estudiosos da voz. Não há dúvidas entre os cientistas, por exemplo, quanto ao que constitui a essência do fenômeno do registro vocal. Ou seja, não se questiona o fato de que emissões vocais produzidas em determinada região de *pitch* possam ser agrupadas numa mesma categoria por serem percebidas como semelhantes em termos de qualidade de voz; e que, paralelamente, essas mesmas emissões possam ser diferenciadas de outras emissões, produzidas em outra região determinada de *pitch*, pertencentes à outra categoria, por sua vez composta por emissões vocais também percebidas como semelhantes em termos de qualidade de voz.

Curiosamente, esse importante ponto de concordância entre os cientistas da voz refere-se aos aspectos perceptivos, os que desde o início fundamentaram o processo natural de aprendizagem e prática do cantor, antes mesmo que as bases fisiológicas e mecânicas da produção da voz fossem compreendidas. É assim que uma das definições mais aceitas no contexto acadêmico e mais comumente citada em textos científicos da área constitui a proposta pelo cientista da voz Ingo Titze (1994), na qual os registros vocais são definidos como “regiões perceptualmente distintas de qualidade de voz, nas quais a mesma pode ser mantida em faixas específicas de *pitch* e *loudness*”. A definição de Titze sugere, por assim dizer, que evidências fisiológicas, aerodinâmicas e acústicas só são elas mesmas suficientes para determinar o

fenômeno do registro vocal se fizerem resultar em qualidades de voz que possam ser diferenciadas perceptualmente.

Finalmente, mesmo num contexto de polêmicas inúmeras relacionadas à nomenclatura dos diferentes registros vocais, a existência dos (assim chamados) “registros primários” no homem é aceita praticamente com unanimidade entre os cientistas da voz, quais sejam (e de acordo com a nomenclatura que será utilizada no decorrer dessa pesquisa): o registro modal e o registro de falsete. Tal existência é de certa forma legitimada pelo fato de serem os mesmos conectados por uma “quebra” na qualidade voz considerada como uma das mais perceptíveis, especialmente quando se trata das vozes masculinas (ainda que, como sabido, tais “quebras” possam ser amenizadas com o treino).

Em paralelo, a existência de mecanismos vibratórios laríngeos distintos correspondentes ao registro modal e ao registro de falsete, determinados pelos diferentes graus de alongamento, espessura e tensão dos músculos das pregas vocais, tem sido validada experimentalmente por meio de metodologias e estudos diversos. E, em sendo assim, não se questiona o fato de que modos distintos de vibração das pregas vocais resultam em manifestações acústicas e aerodinâmicas distintas, correspondentes a qualidades de voz e registros vocais perceptualmente distintos.

O estudo que se segue trata, justamente, das relações entre aspectos perceptivos, acústicos, aerodinâmicos e fisiológicos nos registros modal e de falsete, em cantores do sexo masculino.

Convidamos a participar dessa pesquisa integrantes de um grupo coral semi-profissional, por considerar que nesse contexto provavelmente encontraríamos sujeitos com formação musical semelhante e no mínimo básica, com orientação semelhante em termos de técnica e de uso vocal no canto, com repertório musical semelhante, e eventualmente com faixa etária também semelhante.

Os registros modal e de falsete foram os escolhidos para ser investigados por constituírem registros cuja distinção é aceita de modo praticamente unânime tanto no meio científico como nas práticas pedagógica e clínica. Além disso, existe consenso entre os cientistas da voz quanto à origem (primariamente) laríngea de tal distinção, ainda que, segundo alguns autores, outros ajustes no trato vocal possam ocorrer simultaneamente. Também, os nomes “registro modal” e “registro de falsete” são nomes comumente aceitos para designar os referidos registros na voz masculina, sendo utilizados em diversas terminologias propostas no decorrer do tempo, conforme será exposto no primeiro capítulo desta tese. Finalmente, concorda-se em geral que a distinção entre esses registros nos homens é reconhecidamente mais evidente do ponto de vista perceptivo do que a distinção equivalente nas mulheres.

A motivação para o desenvolvimento dessa pesquisa nasceu há muitos anos, inicialmente a partir de nossa prática com estudantes de artes cênicas, enquanto na busca de estratégias para o desenvolvimento de possibilidades as mais diversas de uso da voz na fala expressiva. Almejávamos uma boa projeção da voz no espaço, ainda que em diferentes regiões de *pitch* da tessitura vocal, associada à maior flexibilidade e versatilidade em termos de dinâmica de fala. Principalmente, e quaisquer que fossem as situações,

buscávamos eliminar qualquer esforço vocal desnecessário ou abusivo. Nos exercícios dirigidos ficavam claras as diferenças entre as qualidades de voz nas diferentes regiões de *pitch* da voz falada.

Tais diferenças também se manifestavam em diversas situações no contexto clínico fonoaudiológico, não somente em casos em que as mudanças involuntárias entre registros vocais se faziam presentes como sintoma de patologias específicas, como no trabalho com profissionais da voz que buscavam manter uma voz saudável e desenvolver maior expressividade em situações de fala.

Mas foi principalmente no contexto da voz cantada, na atividade de regência coral, que a questão dos registros vocais apresentou-se para nós de modo particularmente relevante, pois incursões em regiões agudas de *pitch* exigidas em determinadas obras, especialmente aos tenores, não raro ocasionavam “quebras” na qualidade da voz.

Em paralelo, a gradativa investigação de estudos científicos da voz cantada mostrou que, mesmo que os registros modal e de falsete tenham sido desde há muito abordados na literatura, são ainda relativamente escassos os estudos experimentais que investiguem como se relacionam os aspectos fisiológicos, acústicos e aerodinâmicos na produção desses registros, e, principalmente, que investiguem como se dá a relação entre aspectos da produção e da percepção nos diferentes registros da voz.

O canto em sua manifestação expressiva pode ser entendido como uma experiência de natureza essencialmente estética, vinculada, por assim dizer, à experiência sensorial e perceptiva do cantor e do ouvinte. Este fato, por si só,

já justificaria *a priori* o interesse particular pelo estudo dos aspectos perceptivos da voz cantada.

Mas, ainda mais do que isso, a percepção da voz ocupa posição de proeminência nas definições de registro vocal mais comumente aceitas no âmbito da ciência da voz.

Além disso, muitos dos trabalhos científicos que investigam os aspectos acústicos dos diferentes registros vocais, o fazem analisando a manifestação sonora do modo como ela se apresenta no sinal sonoro irradiado pela boca, após a forma de onda originalmente gerada na fonte glótica ter sido já transformada pelas ressonâncias do trato vocal. Nessa situação, as manifestações acústicas relacionadas às discontinuidades na qualidade da voz originadas na fonte glótica aparecem mescladas com manifestações relativas a possíveis discontinuidades associadas a modificações nas formas do trato vocal. Investigações que considerem as diferenças entre os aspectos acústicos nos diferentes registros vocais do modo como se manifestam já na fonte glótica parecem promissoras quando se considera que o registro vocal constitui um “evento totalmente laríngeo” (Hollien, 1974).

A identificação dos diferentes registros vocais está, por assim dizer, diretamente relacionada ao modo como a manifestação sonora proveniente dos diferentes modos de vibração das pregas vocais é percebida.

Mas como ocorre tal relação? Ou seja: quais os aspectos do som percebido que de fato determinam a diferenciação perceptiva dos registros vocais? Ou como tais aspectos interagem ao determinar a representação perceptual dos registros da voz?

Buscando respostas para tais questões, estabelecemos como objetivo desta pesquisa a investigação dos aspectos perceptivos, acústicos, aerodinâmicos e fisiológicos dos registros vocais modal e de falsete, e das relações que tais aspectos estabelecem entre si. Este trabalho está organizado em oito capítulos, conforme descritos a seguir.

O **primeiro capítulo** aborda o modo como o conhecimento a respeito dos registros vocais evoluiu até que as primeiras observações de Manuel Garcia fossem realizadas, e, a partir de então, até os presentes dias. Esse capítulo inclui informações relativas à evolução histórica da noção de registro vocal e à variada terminologia utilizada nos âmbitos das práticas pedagógicas e da ciência da voz.

No **segundo capítulo** são apresentadas algumas noções básicas relativas a possíveis abordagens dos registros vocais, considerando seus aspectos perceptivos, fisiológicos, acústicos e aerodinâmicos.

No **terceiro capítulo** são descritos e detalhados os procedimentos que foram utilizados para a coleta dos dados sobre a fonte glótica nos registros modal e de falsete, quais sejam, a filtragem inversa e a eletroglotografia, ambos em sua natureza não invasivos.

No **quarto capítulo** apresentamos então o primeiro estudo que faz parte desta tese: “Diferenças na fonte glótica nos registros modal e de falsete em cantores de coral do sexo masculino”. Este estudo parte do pressuposto de que o registro vocal é de fato um evento laríngeo e, portanto, de que as diferenças na qualidade vocal relacionadas aos diferentes registros vocais são decorrentes de diferenças na fonte glótica. Cento e quatro emissões de voz

cantada – sendo cinquenta e duas cantadas no registro modal e cinquenta e duas no registro de falsete – foram analisadas a partir das formas de onda obtidas pelos procedimentos de filtragem inversa e de eletroglotografia. Na forma de onda acústica filtrada, em sua derivada e na derivada do sinal do EGG foram extraídas medidas relativas a parâmetros acústicos específicos, supostamente representativos das possíveis diferenças fisiológicas, acústicas e aerodinâmicas entre os registros vocais estudados. As medidas acústicas obtidas para os diferentes registros vocais foram comparadas e as correlações entre as mesmas foram investigadas.

O segundo estudo que integra esta pesquisa é descrito no **quinto capítulo**. Em “Relações entre percepção do registro vocal e parâmetros acústicos da fonte glótica em homens” investigamos como ocorreu a percepção dos registros modal e de falsete nas cento e quatro emissões analisadas no estudo anterior. Nesse estudo, os estímulos de voz cantada, apresentados em ordem aleatória, foram classificados por dezesseis especialistas em voz, por meio de um teste perceptivo de “escolha forçada”. As respostas obtidas nesse teste foram comparadas com as medidas dos parâmetros acústicos glotais encontradas na análise da fonte glótica de ambos os registros, descritas no primeiro estudo, e as correlações entre os dados de produção e os de percepção foram investigadas.

No **sexto capítulo** discutimos as relações entre os aspectos acústicos, aerodinâmicos e fisiológicos na produção dos registros modal e de falsete, e analisamos como esses aspectos interagiram na determinação perceptiva desses registros. Aspectos sobre a possível natureza das relações que se

estabelecem entre a produção e a percepção dos registros vocais foram abordados.

Finalmente o **sétimo capítulo** trata das conclusões desta pesquisa e de possíveis projetos futuros dela decorrentes.

Esta pesquisa foi desenvolvida a partir de um projeto integrado entre o Laboratório Integrado de Análise Acústica (LIAAC) do Programa de Estudos Pós Graduated em Lingüística Aplicada e Estudos da Linguagem (LAEL) da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo (PUC – SP) e o Departamento de Fala, Música e Audição (*Speech, Music and Hearing Department – TMH*) da Escola de Ciências da Computação e Comunicação (*School of Computer Sciences and Communication – CSC*) do Instituto Real de Tecnologia (*Royal Institute of Technology – KTH*).

1. EVOLUÇÃO DO CONHECIMENTO SOBRE OS REGISTROS VOCAIS

1.1. O enigma da produção da voz

O conhecimento relativo à produção e percepção da voz humana, assim como o conhecimento a respeito do ser humano e do mundo em geral, desenvolveu-se vinculado ao desenvolvimento cultural das sociedades.

Na antiguidade os fenômenos naturais eram vistos como religiosos ou sobrenaturais. No Egito antigo, por exemplo, atribuía-se um poder mágico aos pulmões, o qual poderia ser mesmo utilizado como uma espécie de amuleto para espantar o mal. Não se sabia ainda da conexão entre o ar proveniente dos pulmões e a produção do som vocal. Na Índia antiga, movimentos do vento e do fogo eram vinculados à criação da voz e da fala. Na Babilônia, mais de 2000 anos antes do nascimento de Cristo, doenças eram atribuídas a demônios, sendo que a cada parte do corpo correspondia um pequeno demônio. Muitos cantores e oradores experimentaram, ora ou outra, a presença deste pequeno “demônio” em suas próprias gargantas.

Na Grécia antiga, particularmente no período considerado pelos historiadores como o de esplendor da civilização grega, o conhecimento desenvolvido apresentou-se já mais embasado em observações, propriamente ditas, dos fenômenos naturais. Neste contexto viveu Hipócrates, filósofo que, no século V antes de Cristo, deu especial atenção à voz humana, descrevendo-a em termos de suas diferentes características sonoras, percebidas como

“clareza”, “rouquidão”, “estridência”, dentre outras. Hipócrates especulou que tanto pulmões como traquéia exerceriam papel na produção da voz, e que lábios e língua estariam envolvidos na articulação das palavras. Também o filósofo Aristóteles, no século III antes de Cristo, especulou a respeito da voz humana. Ele foi o primeiro a afirmar que a voz era produzida pelo impacto do ar na traquéia e na laringe. Sua crença de que o processo de produção da voz se iniciava a partir da “inspiração” da alma, localizada nos pulmões e no coração, deu origem à conhecida expressão “a voz é o espelho da alma”, utilizada até os presentes dias. Foi apenas no século seguinte, contudo, que uma descrição mais detalhada dos órgãos que produzem a voz e a fala veio a ser realizada. O médico e filósofo Claudius Galen, intelectual eminente na Grécia, foi o primeiro a descrever a laringe do ponto de vista anatômico, sendo por isso considerado por muitos como fundador da laringologia e precursor da ciência da voz. Galen referiu-se à laringe como o instrumento de produção da voz, comparando-a a um instrumento musical: a flauta (von Leden, 1997).

O período que se seguiu após o declínio da civilização greco-romana constituiu, como sabido, um período negro para o desenvolvimento do conhecimento científico na Europa. Muitos dos escritos dessa época relativos à anatomia e ao provável funcionamento da laringe foram redigidos por médicos ou filósofos da região da Arábia, os quais traduziram os escritos de Claudius Galen para o árabe e, no geral, preservaram os conceitos greco-romanos vigentes durante o período que correspondeu à “Idade das Trevas” (von Leden, 1997).

Ao que se sabe, foi justamente neste contexto histórico-cultural em que surgiram, já no século XIII, as primeiras referências na literatura relativas à

existência de diferentes registros na voz. Tais escritos, realizados não por filósofos ou médicos, mas sim por monges e em latim (Duey, 1951), fazem menção às “várias vozes” com as quais o cantor poderia cantar, dependendo da região de *pitch* em que ele emitisse o seu canto. O termo registro (vocal), especificamente, foi emprestado da terminologia utilizada para órgãos (*apud* Large, 1972a) e esteve, desde os primórdios, relacionado à percepção das diferentes qualidades de voz.

1.2. Os registros vocais na arte e na ciência

À Idade das Trevas seguiu-se a Renascença, reconhecidamente caracterizada por uma explosão em termos de conhecimento científico. O pioneiro desse novo mundo foi sem dúvida Leonardo da Vinci (1452 – 1519). Com base em observações de cadáveres por ele mesmo dissecados, este grande e versátil gênio apresentou informações inéditas a respeito da anatomia, fisiologia e patologias da voz humana. Nos séculos subseqüentes, foram diversas as investigações buscando conhecimento mais detalhado da anatomia da laringe, da produção da voz e dos órgãos da comunicação. A Universidade de Pádua, em particular, constituiu referência fundamental em termos de produção de conhecimento, e por ela passaram nomes de grande importância no cenário do desenvolvimento do conhecimento científico relativo ao corpo humano em geral, e à produção da voz humana em particular. Dentre eles destacaram-se Andréas Vesalius (século XVI), Gabriele Fallopio (século

XVI), Hieronymus Fabricius (séculos XVI/XVII), Julios Casserius (séculos XVI/XVII) e Giovanni Morgagni (séculos XVII/XVIII), dentre outros.

Este mesmo período assistiu também a um esplendoroso reflorescimento no universo das artes de um modo geral, e da música vocal, em particular. Informações relativas aos usos da voz foram registradas em prefácios de coletâneas de peças cantadas, em capítulos específicos de tratados de música, trabalhos didáticos sobre ornamentação e estilo musicais, livros de história da música. Especificamente já a partir do final do século XVI, deu-se o início ao movimento assim chamado de *bel canto*, ou belo canto, escola italiana caracterizada basicamente pelo virtuosismo vocal no canto solo. Este movimento fez gerar inúmeros escritos e tratados relativos à técnica vocal considerada apropriada para esse tipo de canto, o qual atingiu seu auge no início do século XIX. O *bel canto* constituiu sem dúvida exemplo de sofisticação extrema em termos de uso da voz e os escritos que a ele dizem respeito serviram como referência para compreensão de outros tantos modos distintos de usos da voz.

Nesse período de marcante renascimento científico e cultural, ciência e arte estiveram, de fato, muito próximas na história do desenvolvimento do conhecimento da voz. Seria mesmo possível dizer que caminharam ambas em paralelo, descrevendo e analisando a produção da voz sob suas diferentes perspectivas. Seria também possível entender que um verdadeiro entrelaçamento entre ambas tenha sido iniciado alguns séculos depois, conforme será verificado mais adiante.

De qualquer modo, foi novamente no contexto da arte musical e do ensino do canto em que surgiram as primeiras descrições mais detalhadas sobre os registros vocais, como a apresentada em *Prattica di musica* (apud Stark, 2003), por Lodovico Zacconi, *maestro di cappella*. Em seu escrito, ao referir-se à necessidade de unidade entre timbre vocal de coralistas treinados e não treinados, o maestro faz referência à *voce di petto* (voz de peito) e à *voce di testa* (voz de cabeça), recomendando aos cantores que preferencialmente utilizassem as vozes de peito, de maior “deleite” se comparadas às vozes de cabeça, “chatas” e “irritantes”. Ele observou que alguns cantores caminhavam de uma voz para a outra, mas que o melhor seria mesmo permanecer na voz de peito, mais poderosa e de “melhor entonação”. Tal divisão entre vozes dizia respeito evidentemente a cantores do sexo masculino, pois mulheres não eram aceitas nos corais naquela época e, sendo assim, as partes mais agudas da música coral eram normalmente cantadas por meninos. A utilização exclusiva da voz de peito, contudo, poderia ser problemática, uma vez que com ela por vezes não se conseguia atingir notas mais agudas sem que as mesmas fossem emitidas de modo forçado e “ofensivo”. Segundo Zacconi, melhor seria que estas notas fossem omitidas a serem emitidas de modo a causar a sensação de desprazer aos ouvidos. Por outro lado, se a intenção fosse a de cantar notas agudas de modo confortável e em volume *piano*, mais adequado seria que fossem mesmo cantadas com a chamada voz de cabeça, ou falsete (apud Stark, 2003).

Comentários de natureza semelhante haviam sido já proferidos por Giovanni de'Bardi, patrocinador da *Florentine Camerata*, grupo que no final do século XVI se dedicava a descobrir a glória, supostamente perdida, da música

dramática grega. Giovanni de' Bardi criticou os baixos que cantavam as notas agudas como se estivessem “gritando”, semelhantes a “cachorros uivando” (*apud Stark, 2003*).

A existência de dois registros vocais foi também defendida pelo compositor Giulio Caccini, anos mais tarde. Em *Le nuove musiche* (1602), Caccini referiu-se à *voce piena e naturale* (voz cheia e natural) e à *voz finta* (voz fingida, ou falsete), deixando claro que ele particularmente não gostava da *voz finta* (voz de falsete) por ser a mesma débil e soprosa, além de inadequada para criação de contrastes entre intensidades de voz. Sendo assim, suas composições foram em geral constituídas por faixas tonais modestas, sempre dentro dos limites confortáveis para emissões com a voz de peito (*apud Stark, 2003*).

No contexto científico, já se iniciava a primeira década do século XVIII quando a discussão relativa ao modo como ocorreria a produção vocal das diferentes faixas tonais foi trazida à tona. Segundo o médico e cientista francês Dennis Dodart, a produção dos diferentes “tons da voz” dependeria das diferenças entre tensão dos “lábios vocais” e de suas estruturas internas. Dodart sugeriu que as funções da laringe se assemelhariam mais ao funcionamento de uma corneta ou de um trompete, do que ao de uma flauta, uma vez que nesses instrumentos o controle do tom musical das notas produzidas dependeria justamente da tensão estabelecida entre os lábios e os respectivos bocais, semelhantemente ao modo como supostamente ocorreria o controle da produção dos diferentes tons da voz (*apud von Leden, 1997*).

O contexto da música vocal no século XVIII, em paralelo, apontava a necessidade de uma técnica vocal absolutamente apropriada como maneira de preservar a identidade da voz em determinado estilo de canto (no caso, o *bel canto*) o qual tipicamente demandava uma faixa extensa de *pitch* e uma unificação da voz nas diferentes regiões do *pitch*. Tal necessidade fez gerar uma série de tratados que abordaram essa questão.

Destes, destacou-se sem dúvida o tratado escrito por Pierfrancesco Tosi, *Opinioni de'cantori antichi, e moderni, o sieno osservazioni sopra Il canto figurato*, considerado um dos mais importantes deste período, publicado em 1723, reeditado diversas vezes e posteriormente traduzido para inglês, francês e alemão. Tosi era ele mesmo um cantor *castrato*, professor de canto e compositor, e destinou primariamente o seu livro aos sopranos, termo utilizado na época para se referir aos cantores *castrato*, exemplo da boa prática no canto. As descrições por ele apresentadas sugerem que a voz do eunuco, ainda que mais aguda do que voz masculina normal, apresentava também dois registros vocais chamados primários, a *voce di petto* (voz de peito) e a *voce di testa* (voz de cabeça), e deveria ser submetida às mesmas técnicas de canto utilizadas por um cantor não *castrato*. Tosi referiu recomendar aos cantores que aprendessem a cultivar a boa produção de ambos os registros, para que fossem os mesmos devidamente utilizados nas situações apropriadas, e para que o canto não tivesse que se restringir a umas poucas notas musicais mais graves. Tosi pregava, além disso, a necessidade de “união” entre registros por meio do treino, pois a falta dessa, segundo o autor, acarretaria em perda da beleza da voz (*apud Stark, 2003*).

Outro tratado de destaque que abordou essa mesma questão foi *Pensieri e rilessioni pratiche sopra Il canto figurato*, escrito pelo também cantor castrato Giambattista Mancini, e posteriormente traduzido para o francês e para o inglês. Nesse tratado, Mancini propôs dividir as vozes em dois registros, tal qual propôs Tosi aproximadamente meio século antes: *registre di petto* (registro de peito) e *registre di testa* (registro de cabeça, ou falsete). Mancini fez referência a “casos raros” nos quais o cantor, de posse de uma habilidade supostamente inata, conseguiria executar toda a gama tonal com a voz de peito. Mancini não deixou claro se para tanto tais cantores conseguiriam fazer o registro falsete soar como o de peito, ou se conseguiriam estender o registro de peito até notas mais elevadas. Ainda assim, esse autor enfatizou a grande dificuldade em conseguir a união entre ambos os registros, talvez a “maior das dificuldades na arte do canto”, e apontou que tal união seria possível com o devido treino, por meio do “fortalecimento das notas do registro de cabeça”.

A idéia da existência de dois registros proposta nos escritos de Zacconi e Caccini, e aceita por Tosi e Mancini, dentre outros, foi ofuscada em certa medida em decorrência das traduções dos escritos de Tosi para o inglês e para o alemão.

Na tradução para o inglês, por exemplo, o compositor e oboísta alemão J. E. Galliard acrescentou notas de rodapé de sua própria autoria, na qual fez referência à *voce di petto* como uma “voz cheia, que vem do peito com força”, a “mais sonora e expressiva”; à *voce di testa*, que “vem mais da garganta do que do peito” e é capaz de “maior volubilidade”; e ao *falsetto*, uma “voz fingida”, inteiramente “formada na garganta” e “sem substância”. Foi desse modo que Galliard acabou por introduzir uma teoria reivindicando a existência de três

registros na voz masculina, ao invés de dois, na qual as vozes de cabeça e de falsete passariam a ser consideradas como dois registros distintos.

Já na tradução para o alemão, Johann Agricola, estudante de composição musical, aluno de J. S. Bach, adicionou diversas observações interpretativas em relação aos escritos originais. Nessas, por exemplo, relacionou os registros de peito e de cabeça a propriedades da traquéia, e afirmou que o registro de falsete poderia ocorrer tanto na emissão de notas mais agudas como na de notas mais graves, referindo-se nesse último caso, aparentemente, ao registro hoje conhecido como registro de pulso (*apud Stark, 2003*).

No final do século XVIII, vários autores propuseram teorias sugerindo a existência de três registros vocais, principalmente para as vozes femininas, embora mantendo em sua maioria a idéia da existência de dois registros nas vozes masculinas.

No decorrer do século XIX, ocorreu uma grande proliferação de livros relacionados à produção da voz no canto. O caráter impressionista e muitas vezes ambíguo dos escritos fez, contudo, aumentar a polêmica em torno do tema dos registros vocais. Por exemplo, o compositor de ópera inglês Isaac Nathan descreveu em *Musurgia Vocalis* não mais três, porém quatro registros vocais distintos: *voce di petto*, *falsetto*, *voce di testa* e *voce feigned* (fingida), esta uma “voz que não é nem falsete e nem de cabeça”, mas uma “espécie de ventriloquismo”, um “som suave e distante produzido aparentemente no peito, principalmente na parte de trás da garganta e da cabeça, com qualidade interiorizada, que transmite a ilusão de ser ouvida à distância”,

sendo esta “melodiosa e suave, flutuante, como se fosse um eco” (*apud* Stark, 2003).

Em seu caminho paralelo, a ciência estabelecia nesse mesmo período marcos importantes relativos à investigação do órgão vocal e da produção da voz. Sendo assim, foi já na primeira metade do século XIX em que, por exemplo, o médico e cientista francês François Magendie conseguiu visualizar a vibração das pregas vocais em experimentos com animais (em 1812); o médico e professor de física alemão Jean Baptiste Biot inferiu que o som vocal nascia de uma série de lufadas de ar, causadas pela abertura e fechamento alternados das pregas vocais na medida em que o ar passava por elas (em 1816); o estudante de medicina alemão Carl Lehfeld defendeu em sua tese que os tons produzidos em falsete nasceriam também na laringe, e que nele os movimentos de vibração se restringiriam às extremidades das pregas vocais (em 1835); o fisiologista alemão Johannes Müller, utilizando laringes excisadas, demonstrou que o fluxo de ar constituía elemento ativo na produção do som ao colocar as pregas vocais em vibração, sendo essas, em sua opinião, passivas nesse processo, e anunciou, em 1839, a teoria mioelástica da fonação (*apud* von Leden, 1997).

O século XIX constituiu, por assim dizer, um período de grande importância no que refere à disseminação de conhecimento científico relacionado à produção do som vocal. Até então, e com informações limitadas relativas à anatomia, fisiologia e acústica da voz, cantores e professores de canto tiveram que basear seus conceitos, terminologias e práticas nas percepções pessoais das vozes ouvidas e nas sensações proprioceptivas decorrentes da produção da voz. Provavelmente, ao ouvirem suas próprias

vozes e outras, cantores ou professores de canto rapidamente estabeleciam conexões entre a sensação do som ouvido e o modo como possivelmente os órgãos da voz e da fala estariam posicionados para a produção da referida voz. E, sendo assim, ainda que baseadas em grande medida em aspectos de natureza impressionística, tais conexões no geral acabaram por prevalecer como referência na adoção dos nomes utilizados para designar os diferentes registros da voz. Além do mais, é provável que certo apelo intuitivo inerente a esse tipo de linguagem, mais metafórica em sua natureza, tenha contribuído para que todo um conjunto de nomes prevalecesse, no decorrer do tempo, no contexto do ensino e da aprendizagem da música vocal.

Não seria de se estranhar, portanto, que os diferentes nomes atribuídos às “diferentes vozes” normalmente expressassem alguma espécie de relação de semelhança entre as sensações decorrentes dos diferentes modos de produção de voz e a qualidade vocal resultante. Sendo assim, sensações de vibração, por exemplo, nas regiões da frente, lados e/ou topo da cabeça, comumente associadas à emissão de sons cantados na região mais alta de *pitch*, eram interpretadas como decorrentes do “posicionamento”, propriamente dito, da voz nessas regiões, como se a voz “estivesse vindo” da cabeça, vindo a constituir, portanto, a voz chamada “voz de cabeça”. Assim também, sensações de vibração no peito, associadas, por exemplo, à emissão de sons produzidos na região mais baixa de *pitch*, eram interpretadas como sendo presumivelmente oriundas desta região do corpo, como se “estivessem vindo” do peito, vindo a constituir, por sua vez, a “voz de peito”. Quando cantando na região mediana da faixa de *pitch*, cantores notavam sensações e qualidades de sons que eram diferentes daquelas sentidas quando eles cantavam nas regiões

mais agudas ou mais graves, com uma predominância de sensações de vibração na garganta. Esse jeito de produzir o som vocal poderia ser então chamado de “voz de garganta”. Também, a transição das sensações sinestésicas de um lugar para outro lugar do corpo, associada à mudança na qualidade da voz percebida quando na emissão de sons em diferentes regiões da escala musical, eram interpretadas como decorrentes da mudança do “lugar da voz” emitida.

As nítidas diferenças entre as linguagens provenientes do contexto musical e do contexto científico não impediram que a certo ponto arte e ciência se vissem entrelaçadas no processo de desenvolvimento do conhecimento da voz em geral, e dos registros vocais em particular. É possível que um dos exemplos mais marcantes nesse sentido tenha sido o que desempenhou Manuel Garcia II (1805 – 1906).

Este professor de canto e estudioso da voz humana era filho de um cantor espanhol. Num possível início de carreira ele viu sua própria voz bastante prejudicada por demasiados ensaios e performances. Aos vinte e quatro anos começou então a dar aulas particulares de canto e aos trinta anos se tornou professor de canto no renomado Conservatório Paris.

Garcia era aparentemente bastante familiarizado com os trabalhos de Tosi, Mancini e Agricola, dentre outros, os quais mantinham a posição de que eram três os registros vocais nas mulheres e dois nos homens. Mas a nomenclatura para os registros vocais se expandia ainda mais, e termos como *falsetto*, *voce di testa*, *voce finta*, *voce di mezzo petto*, *voix mixte*, *voix do*

gozier, voix sombrée ou couverte poderiam se referir a registros todos localizados acima do “registro de peito”.

Interessado em compreender a fisiologia dos mecanismos vocais possivelmente subjacentes às diferenças entre qualidades de voz correspondentes aos diferentes registros vocais, Garcia explorou sua própria laringe e a de alguns de seus alunos por meio de um laringoscópio constituído por um pequeno espelho fixado no final de um cabo comprido, a ser posicionado na garganta. Com a iluminação apropriada Garcia conseguiu observar as pregas vocais não somente em repouso, mas também em movimento, inclusive na situação de canto.

Em novembro de 1840 Garcia apresentou à *Académie des Sciences* da França os resultados encontrados em seus experimentos, e propôs que os registros vocais fossem definidos como “uma série de tons consecutivos e homogêneos que vão da região mais grave até a mais aguda de *pitch*, produzido pelo mesmo princípio mecânico, cuja natureza difere essencialmente de outras séries de tons, igualmente consecutivos e homogêneos, produzidos por outro princípio mecânico” (Garcia, 1847). Em 1847, no prefácio de “*Ecole de Garcia: traité complet de l’art du chant par Manuel Garcia*”, Garcia expõe as suas tentativas de sistematizar práticas dentro de um novo modelo teórico cujas referências estivessem baseadas nas verdadeiras origens fisiológicas dos registros vocais (*apud* Stark, 2003).

De posse de aparato técnico rudimentar se comparado à tecnologia hoje disponível, as observações colhidas por Manuel Garcia ainda assim causaram grande impacto no modo como o conhecimento dos registros vocais vinha

sendo até então estruturado, principalmente no contexto da música vocal. Em outras palavras, em relação à produção dos registros da voz as explicações baseadas nas ressonâncias no peito e na cabeça percebidas pelos cantores cederam lugar a explicações baseadas nos aspectos fisiológicos relativos aos músculos intrínsecos da laringe.

Garcia reconheceu dois registros principais como sendo produzidos por dois modos distintos de vibração das pregas vocais: o *registre de poitrine* (registro de peito) e o *registre de fauseet-tête* (registro por ele chamado de falsete-cabeça). Ele descreveu o registro de falsete-cabeça como um registro único que conteria duas partes: uma mais grave, denominada de falsete ou média, e uma mais aguda denominada de cabeça. Segundo Garcia, no registro de peito as pregas vocais vibrariam em todo o seu comprimento e em toda a sua profundidade; e no registro de falsete as pregas vocais vibrariam apenas em suas margens, de modo a resultar numa massa vibratória menor, de menor espessura e com maior tensão entre pregas.

Utilizar o nome falsete para um registro localizado em região intermediária em termos de *pitch* gerou certa polêmica no contexto acadêmico e musical, embora aparentemente não tenha sido ele o primeiro a utilizar tal terminologia. Anos mais tarde, ao que tudo indica para evitar maiores confusões, Garcia escreveu em *Hints on Singing* (1894) que: “todas as vozes são formadas por três porções distintas: peito, médio e cabeça. Os nomes não são corretos, mas são aceitos” (*apud* Stark, 2003). Quanto à equalização entre registros, a mesma tendeu a ser entendida como uma transferência gradual e contínua de tensões musculares entre os músculos laríngeos intrínsecos

identificados como responsáveis pelos registros de peito e de falsete, respectivamente.

1.3. Descrições metafóricas e científicas da voz: a polêmica nomenclatura dos registros vocais

O grande avanço tecnológico ocorrido no decorrer do século XX, particularmente a partir da segunda metade do mesmo, trouxe consigo o desenvolvimento de novas tecnologias que impulsionaram o desenvolvimento dos estudos científicos da voz, possibilitando, por exemplo, a extração e a documentação de medidas fisiológicas e acústicas relacionadas à produção da voz por meio de métodos gradativamente menos invasivos.

Especialmente com relação aos registros da voz, houve um interesse importante no desenvolvimento de métodos científicos que pudessem solucionar controvérsias entre terminologias e conceitos comumente utilizados no contexto do ensino do canto.

A área da acústica da voz, por exemplo, apresentou avanço importante principalmente após a Segunda Guerra Mundial, em consequência das pesquisas realizadas pelos Laboratórios Bell para o desenvolvimento de tecnologias de transmissão de sinais de fala. Foi basicamente nesse contexto em que nasceu a Teoria Acústica da Produção da Fala, elaborada por Gunnar Fant em 1960, a qual exerceu influência fundamental no âmbito das Ciências da Fala. O autor propôs modelos matemáticos para representar o

funcionamento da fonte glótica e do trato vocal no processo de produção da fala (Fant, 1960), e esses, por sua vez, serviram como referência para modelos posteriores relativos à ação das pregas vocais e aos possíveis mecanismos de produção da voz cantada (Titze, 1973; Titze, 1974).

Nesse mesmo período, aproximadamente, professores de canto como William Vennard e John Large estiveram particularmente envolvidos em investigações experimentais da voz cantada, manifestando uma tendência pela busca de uma “Teoria fisiológica-acústica integrada dos registros vocais” (Vennard, 1967; Large, 1972a). De acordo com tal teoria, tanto ajustes laríngeos como articulatórios estariam envolvidos na determinação das características que definiriam os diferentes registros da voz. As estratégias de investigação dos registros vocais utilizadas pelos principais autores desse movimento estiveram em grande parte baseadas nas técnicas propostas pelos estudos na área da fonética acústica, fazendo uso, por exemplo, da análise espectrográfica, e, em particular, no trabalho desenvolvido por Gunnar Fant (1960). O movimento em direção a uma teoria integrada dos registros vocais perdeu muito de seu vigor antes mesmo de gerar grandes frutos.

Na área da fisiologia vocal destacaram-se, em particular, os estudos desenvolvidos pelo médico Janwillem van den Berg (1963) com laringes excisadas, voltados basicamente para a compreensão dos padrões de vibração das pregas vocais. Também constituíram destaque as investigações realizadas pelo médico Minoru Hirano conjuntamente com os professores de canto William Vennard e John Ohala (Hirano *et al*, 1970), nas quais foi utilizada a eletromiografia para estudar o papel dos músculos intrínsecos da laringe na regulação dos registros vocais.

Nas investigações das funções dos músculos laríngeos intrínsecos no canto, Hirano considerou a existência de três registros vocais principais os quais, da faixa mais grave à mais aguda de fonação, foram por ele chamados de: *vocal fry*; registro modal ou “pesado” (*heavy*), subdividido em registro de peito, registro médio e registro de cabeça; e registro “leve” (*light*) ou de falsete.

Em 1974, numa tentativa de encontrar soluções para a polêmica nomenclatura dos registros vocais, o cientista Harry Hollien apresentou a seguinte definição para o registro vocal: “um evento totalmente laríngeo que consiste de uma série ou faixa de freqüências de voz consecutivas que podem ser produzidas com qualidade de voz muito semelhante”. O autor acrescentou ainda que “deve haver alguma sobreposição de freqüências fundamentais de registros adjacentes” e que “uma definição operacional dos registros depende de evidências perceptuais, acústicas, fisiológicas e aerodinâmicas” (Hollien, 1974). Segundo o autor, seriam três os registros possíveis de ser enquadrados na definição acima:

1. Registro de pulso: produzido na faixa de freqüência de *pitch* mais grave da fonação;
2. Registro modal, produzido na faixa de freqüência de *pitch* média da fonação;
3. Registro “elevado” (*loft*): produzido na faixa de freqüência de *pitch* mais alta da fonação.

Hollien não excluiu a possibilidade de que outros registros também pudessem existir, como, por exemplo, o “registro de flauta” ou “registro de

assobio”, produzido em frequências de fonação bastante altas, mas reforçou que tais registros não podiam ser experimentalmente definidos ou demonstrados, tampouco descritos com a mesma precisão do que os primeiros três.

Aproximadamente uma década depois, o *Collegium Medicorum Theatri* (CoMeT), uma organização internacional formada primariamente por médicos interessados no estudo da voz profissional e no aprimoramento das práticas para tratamento da voz de atores e cantores, fez constituir um comitê com o objetivo específico de delinear e discutir aspectos considerados importantes nas investigações dos registros vocais. Aos médicos que inicialmente integravam o CoMeT uniram-se também cientistas da voz, engenheiros e professores de canto. As deliberações e conclusões dos integrantes do comitê foram redigidas pelo próprio Hollien e fizeram referências a questões de maior ou menor controvérsia no grupo (Hollien, 1985).

Os integrantes do comitê em sua maioria concordaram que:

1. Os registros vocais existem e, ainda que suas diferenças possam vir a ser “encobertas” com o treino, eles devem ser reconhecidos como entidade;
2. O modo como os registros vocais se manifestam no canto é distinto do modo como se manifestam na fala. Resultados de investigações dos registros vocais manifestos na fala não podem ser diretamente extrapolados para o canto;

3. Os registros vocais não podem ser eliminados da voz, uma vez que são determinados fisiologicamente. Seus efeitos podem na verdade ser minimizados em determinados estilos de canto, do mesmo modo como podem ser enfatizados em outros estilos.

Os integrantes do comitê não chegaram, contudo, a um consenso quanto:

1. À questão da origem dos registros vocais.

Alguns membros opinaram de forma taxativa quanto à sua origem exclusivamente laríngea, diferenciando-os de outros eventos que, apesar de também relativos à qualidade vocal, não poderiam ser confundidos, em sua natureza, com o fenômeno propriamente dito dos registros vocais; outros membros defenderam a existência de múltiplas origens para o registro vocal, quais sejam na laringe e/ou no trato vocal. Segundo reporta na ocasião o cientista Harry Hollien, o impasse em relação à origem dos registros só poderia vir a ser resolvido quando novas pesquisas a respeito do tema viessem a ser realizadas;

2. À nomenclatura a ser utilizada para designar os diferentes registros vocais.

Nomes tradicionais na prática pedagógica e inclusive aceitos por alguns membros do comitê foram questionados por outros membros quanto à sua real utilidade científica.

A questão da nomenclatura dos registros vocais, em particular, foi considerada como uma das mais polêmicas dentre as discutidas pelo comitê.

Na opinião de membros do grupo, nomes como “registro de cabeça” ou “registro de peito” fazem referência às sensações vibratórias referidas por cantores e, ainda que definitivamente as mesmas ocorram quando os diferentes registros vocais são produzidos, e que venham mesmo a ser de grande valia no processo de aprendizado, o modo com que elas são percebidas, interpretadas e descritas é de natureza subjetiva, ou seja, seria praticamente impossível replicar tais sensações, medi-las e estudá-las com a precisão necessária para que pudessem vir a ser utilizadas como evidência científica na definição dos diferentes registros vocais.

Hollien inclui no próprio documento uma ilustração das diferenças entre nomenclaturas então vigentes, sugeridas por diferentes autores, conforme segue na Figura 1, na tentativa de mostrar o quão difícil seria encontrar consenso quanto aos nomes a serem atribuídos aos diferentes registros da voz.

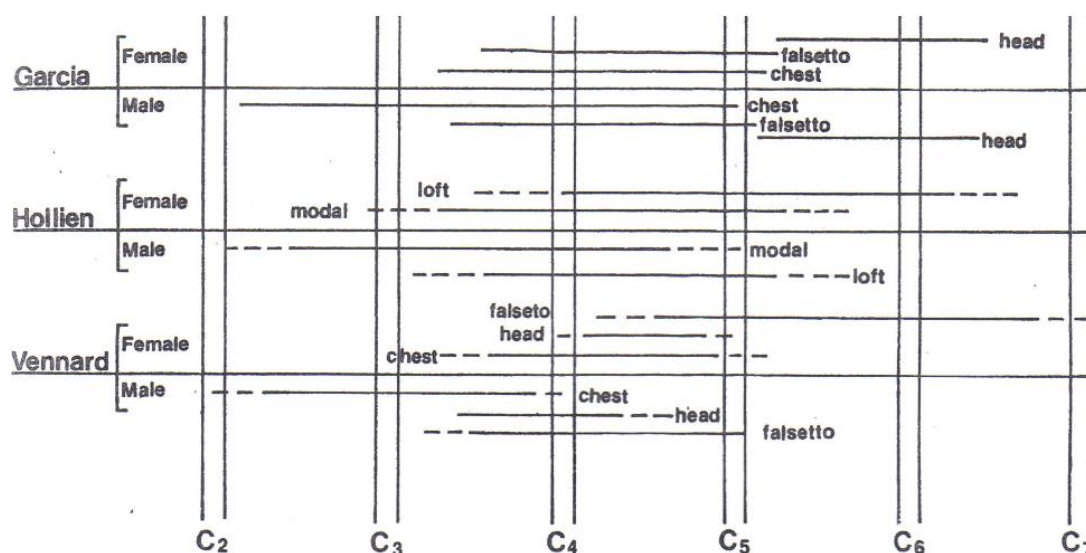


Figura 1: Registros vocais em função da faixa de frequência de fonação, de acordo com diferentes autores (Hollien, 1985: 33).

Duas possíveis abordagens foram então consideradas como tentativas para padronização de nomes, e diminuição, dentro do possível, de controvérsias demasiadas em torno da identificação e descrição dos registros vocais.

Numa primeira abordagem seriam utilizados números, ao invés de nomes, para designar os registros vocais, segundo o comitê, até então identificados, os quais passariam a ser denominados registros #1, #2, #3 e #4. Seriam eles:

- Registro #1: o mais grave de todos os registros, utilizado eventualmente e, provavelmente, apenas na fala. (Termos antigos utilizados para se referir a esse registro seriam: “pulso”, “*fry*”, “*creak*”);

- Registro #2: registro grave, o mais freqüentemente utilizado na fala e no canto. (Termos antigos utilizados para se referir a esse registro seriam: “modal”, “peito”, “normal”, “pesado”);

- Registro #3: registro agudo utilizado principalmente no canto. (Termos antigos utilizados para se referir a esse registro seriam: “falsete”, “leve”, “cabeça”);

- Registro #4: registro extremamente agudo, encontrado em algumas mulheres e crianças, particularmente não relevantes para o canto. (Termos antigos utilizados para se referir a esse registro seriam: “assobio”, “flauta”).

A possível existência de um quinto registro foi também cogitada por membros do comitê, designado registro #2A, o qual, e de acordo com a tradição do ensino do canto, estaria supostamente localizado entre os registros

#2 e #3. O comitê concordou em que tais registros – #2, #3 e #2A, admitindo-se que este último exista – fossem os mais freqüentemente utilizados no canto. O comitê enfatizou, no entanto, não haver até aquele momento evidências científicas que comprovassem a existência do registro #2A.

Numa segunda abordagem, pares de termos genéricos seriam utilizados para designar a oposição à qual mais freqüentemente se faz referência no contexto da música vocal quando se trata dos registros vocais, qual seja: a oposição registro pesado X registro leve, ou registro grave X registro elevado. Nessa abordagem, tais termos substituiriam os antigos “registro de peito” X “registro de cabeça”. Essa segunda abordagem foi considerada por alguns membros do comitê como mais natural e de mais fácil compreensão.

O comitê finalizou suas discussões lembrando que as posições então expressas não deveriam ser consideradas como definitivas e que, de fato, a intenção do grupo era a de que os pontos ali abordados pudessem vir a servir como referência possível para futuros estudos dos registros vocais. Em paralelo, o comitê reconheceu a falta de dados científicos que viabilizassem a identificação e a descrição operacional de todos os registros vocais potencialmente existentes, a definição e o estabelecimento de seus limites, a explicação exata de suas origens e funções, a identificação dos procedimentos utilizados quando as diferenças entre os registros são encobertas.

Desde então, dentre os cientistas que vêm estudando mais consistentemente o fenômeno dos registros vocais, destacam-se Donald Miller, Ingo Titze e Johan Sundberg.

Segundo a abordagem do cantor e professor de canto Donald Miller (2000) os registros vocais constituem resultado da combinação entre os ajustes da fonte glótica e os ajustes do trato. Mesmo posicionando-se a favor de uma “abordagem integrada” dos registros vocais, o autor faz de qualquer forma referências aos “registros naturais” da voz, relacionados principalmente aos ajustes da fonte glótica, por ele chamados de “registro de peito” e de “registro de falsete”.

A tendência de grande parte da comunidade científica, contudo, tem sido a de entender que os registros vocais constituem manifestação essencialmente laríngea, ou seja, que modificações na qualidade da voz relacionadas a outros fatores, que não os associados à fonte glótica, correspondem a eventos de natureza outra que não a que diz respeito aos registros vocais, propriamente ditos. Desta visão compartilham Sundberg (1973; 1987; 1998; 2001) e Titze (1984; 1994).

E, de fato, estudos cada vez mais têm evidenciado que a transição entre registros está relacionada a características biomecânicas da laringe associadas às modificações na quantidade e forma da massa vibrante, e que as transições espontâneas ou involuntárias entre registros ocorrem independentemente da existência do trato, mesmo em laringes excisadas (Svec, 1999).

Sendo assim, e com base em diversos autores, Titze (1984; 1994) formulou duas hipóteses que justificariam as transições involuntárias entre os registros modal e de falsete. Na primeira delas, um relaxamento súbito e espontâneo do músculo tireoaritenóideo (o músculo TA, responsável em grande medida pela tensão longitudinal das pregas vocais) causaria uma

“quebra” na qualidade da voz emitida no registro modal. Esse relaxamento súbito ocorreria após um estado de contração muscular em nível máximo, associado a emissões produzidas em frequências bastante elevadas, a partir das quais tal contração não poderia mais ser mantida. Na segunda delas, uma interação entre a ressonância subglótica com a fonte glótica exerceria uma influência negativa na oscilação das pregas vocais em regiões específicas de *pitch* de fonação, causando uma mudança súbita na qualidade da voz.

Essa segunda hipótese, especificamente, segue a perspectiva proposta pela teoria da dinâmica não linear, explorada principalmente a partir da década de 90 em suas aplicações à fisiologia e à patologia da voz. Sob tal perspectiva, o fenômeno da mudança involuntária entre registros com saltos entre frequências de fonação pela modificação gradual da tensão das pregas vocais pode ser entendido como um fenômeno de bifurcação dos mecanismos vibratórios das pregas vocais, designando uma mudança qualitativa súbita no comportamento de sistemas dinâmicos não lineares (Svec *et al*, 1999).

Muito já foi percorrido no caminho que segue buscando as bases científicas do fenômeno dos registros vocais e, contudo, controvérsias na comunidade científica relacionadas a pontos importantes relativos ao tema permanecem até os presentes dias.

A miscelânea em torno dos termos utilizados para fazer referência aos diferentes registros vocais talvez constitua a manifestação mais significativa relacionada à falta, ainda, de conhecimento cientificamente embasado sobre o assunto.

Por exemplo, os nomes registro de cabeça e registro de falsete são utilizados por vários professores de canto, principalmente, mas também por cientistas da voz, como nomes para designar diferentes qualidades vocais produzidas nos registros médios ou altos. Sendo assim, para alguns professores de canto, o registro de cabeça é imediatamente superior ao de peito, e o de falsete imediatamente superior ao de cabeça. Para outros, o falsete se refere a todas as qualidades de voz acima do registro de peito, sendo que o que tradicionalmente é conhecido como falsete é chamado de “falsete puro”. Entre os falantes de inglês, o uso coloquial do termo falsete refere-se apenas à voz feminina que os homens podem fazer.

De um modo geral, verifica-se que os nomes “pulso” e “*fry*” têm sido utilizados para designar registro situado na faixa mais grave da frequência da fonação; os nomes “modal”, “peito”, “voz mista”, “*belting*”, “voz de cabeça” (no homem), dentre outros, têm sido utilizados para designar registro(s) utilizado(s) na faixa média de frequência de fonação; e os nomes “falsete”, “elevado”, “superior”, “voz de cabeça” (na mulher) têm sido utilizados para designar registro(s) utilizado(s) na faixa mais alta da frequência de fonação.

O fato é que o número de sistemas de registros é quase tão grande quanto o número de autores que os propuseram. Problemas em termos de terminologia existem não somente entre as várias disciplinas que têm abordado a voz, mas também entre continentes, linguagens, escolas, gêneros, e classificações de voz. Sendo assim, apesar dos esforços científicos, e até mesmo da abundância de dados sobre o assunto à disposição, é muito difícil

comparar resultados entre estudos, principalmente devido às discrepâncias nos sistemas de registros utilizados.

A evolução do conhecimento sobre os registros vocais mostra, de qualquer modo, que grande parte da dificuldade em padronizar terminologias relacionadas aos registros vocais esteve e ainda está relacionada às dificuldades em determinar as verdadeiras bases fisiológicas dos mesmos, se fonte glótica, ou se trato vocal. Cantores e ouvintes não necessariamente conseguem distinguir claramente quais são as características especificamente relacionadas aos ajustes laríngeos na fonte glótica, ou relacionadas às modificações das formas do trato de ressonância vocal.

Neste sentido, técnicas que permitam acesso às propriedades acústicas da fonte glótica, antes de serem as mesmas modificadas pelas dimensões do trato vocal, o qual, de qualquer modo, pode apenas modificar aquilo que a laringe efetivamente nele introduziu, se apresentam bastante promissoras na investigação e denominação apropriada dos diferentes registros da voz.

Conforme será descrito nos próximos capítulos, a metodologia utilizada nos experimentos que compõem esta tese, e em particular a que se relaciona a técnicas de investigação da fonte glótica, segue fundamentalmente as bases teóricas e metodológicas que permeiam os trabalhos sobre voz cantada desenvolvidos por Johan Sundberg. Este cientista da voz se destaca pela trajetória extensa e sólida em busca das bases científicas da produção e percepção da voz cantada, e das estratégias utilizadas pelo cantor para a construção da expressividade musical. Parte desta trajetória aparece registrada em *“The science of the singing voice”* (1987). Suas publicações sobre a voz

cantada em geral, e sobre as características da fonte glótica no canto, especificamente, são inúmeras, contudo. Alguns de seus estudos mais recentes investigam exatamente as características da fonte glótica em diferentes registros vocais (Sundberg & Kullberg, 1998; Sundberg & Högset, 2001; Svec *et al*, 2008; Salomão & Sundberg, 2008).

2. A ABORDAGEM DOS REGISTROS VOCALIS

2.1. Aspectos perceptivos

A percepção da voz humana é normalmente descrita em termos de dinâmica da voz (*pitch*, *loudness*, e duração) e de qualidade (ou timbre) da voz. O termo registro vocal diz respeito basicamente a essa última dimensão: a qualidade da voz. Segundo Abercrombie (1967), a qualidade da voz constitui uma qualidade quase-permanente na voz do falante, que pode ser entendida como decorrente de duas origens principais: 1. Da anatomia e fisiologia do equipamento vocal do falante; 2. De ajustes musculares.

Para que o ouvido humano identifique perceptualmente a qualidade (ou timbre) de um som, é necessário que as diferentes formas de ondas sinusoidais que constituem esse som tenham em comum a sua origem e cheguem simultaneamente ao ouvido humano. É justamente o resultado da sincronia dos diferentes harmônicos que define o espectro acústico desse som, e a sua qualidade particular (Sundberg, 1994).

Transições entre os diferentes registros vocais estão associadas a mudanças na qualidade vocal, sendo que transições bruscas entre registros são normalmente percebidas como “quebras” na voz, mais ou menos aparentes. Essas quebras podem acontecer involuntariamente, mas podem também ocorrer voluntariamente, e até mesmo ser exploradas do ponto de

vista artístico, como ocorre, por exemplo, no *yodelling*¹ ou em estilos específicos de música contemporânea.

De acordo com Titze (1994), a percepção da qualidade vocal relacionada aos diferentes registros vocais se caracteriza por *plateaus* (ou “quase *plateaus*”) conectados por transições abruptas, estas significativamente mais salientes do que os *plateaus*. Mais especificamente, a percepção dos registros vocais envolve o estabelecimento de categorias discretas dentro de um contínuo acústico, do mesmo modo como se estabelece um número finito de cores no contínuo da frequência luminosa de um arco-íris.

Segundo o autor, as mudanças na qualidade vocal associadas aos diferentes registros da voz ocorrem em função da variação de parâmetros vocais específicos, de natureza fisiológica e acústica, os quais devem necessariamente ser passíveis de variação gradual e contínua em suas respectivas dimensões físicas. Isso porque mudanças acústicas significativas do ponto de vista perceptivo podem ser decorrentes de modificações apenas sutis no contínuo da variável fisiológica.

Titze propôs organizar os registros vocais tomando-se como referência os dois tipos de transição que, segundo o autor, ocorrem entre os mesmos.

O primeiro tipo de transição constituiria uma “transição de intervalo (*gap*) temporal”, delimitando duas qualidades distintas de voz, determinadas na

¹ Forma de canto que envolve emissões rápidas produzidas alternadamente nos registros modal e de falsete. Esse tipo de técnica é bastante tradicional em várias regiões do mundo, como, por exemplo, nos Alpes Suíços, na Geórgia ou na região da África Central.

realidade por dois modos distintos de percepção do som vocal pelo ouvido humano, quais sejam: uma qualidade de voz pulsátil, tipicamente característica de emissões produzidas abaixo de 70 Hz (aproximadamente), em que o ouvido consegue detectar explosões isoladas de energia acústica no decorrer do ciclo glótico, separadas por intervalos de silêncio; e uma qualidade de voz não pulsátil, tipicamente característica de emissões produzidas acima de 70 Hz (aproximadamente), em que o ouvido não consegue mais detectar as explosões isoladas de energia acústica e os intervalos de silêncio que as separam, sendo o som, portanto, percebido como contínuo. A principal variável que determina essa transição é a frequência fundamental, uma vez que sons emitidos abaixo da frequência de 70 Hz, aproximadamente, serão sempre reconhecidos por sua qualidade de voz pulsátil. Outros vários registros poderão acontecer acima dessa frequência chamada de *crossover* e, contudo, nenhum deles apresentará a qualidade de voz pulsátil que caracteriza o assim denominado registro de pulso.

O segundo tipo de transição constituiria uma “transição de declínio espectral”, novamente delimitando qualidades distintas de voz, essas, porém, diferenciadas em função da perda ou do ganho de energia sonora nos harmônicos do espectro da fonte glótica. Tal mudança é percebida pelo ouvido humano como uma transição entre vozes que se diferenciam por apresentarem maior ou menor riqueza de harmônicos, por serem mais ou menos “robustas” em termos de timbre. De fato, como demonstrado em trabalhos prévios sobre o assunto (Large, 1968; Colton, 1972; Sundberg, 1973), existe forte correlação entre o grau de declínio espectral e o registro vocal percebido. Assim sendo,

também essa transição delimita diferentes registros de voz, o registro modal (com maior energia sonora em harmônicos agudos do espectro) e o registro de falsete (com menor energia sonora em harmônicos agudos do espectro).

Segundo Titze, particularmente quando se trata da voz emitida no canto, é possível ainda reconhecer, dentro dessa mesma faixa de frequência de fonação situada entre o registro de pulso e o registro de falsete, duas qualidades de voz distintas, de qualquer modo diferenciadas em função da quantidade maior ou menor de energia acústica nos harmônicos do espectro glótico. A primeira delas, denominada “registro de peito”, pela sensação de vibração na traquéia e no osso externo a ela associada, corresponderia justamente à qualidade típica da voz do homem na fala e da voz cantada por homens ou por mulheres em regiões mais graves de *pitch*. A segunda delas, muitas vezes chamada de voz mista, ou de voz de cabeça na terminologia adotada por Titze, pela sensação de vibração na cabeça a ela associada, corresponderia à qualidade típica da voz da mulher na fala e da voz cantada por homens ou por mulheres em regiões mais agudas de *pitch*. Mesmo que ambas as qualidades sejam percebidas como distintas, quando se transita entre as mesmas não ocorrem “quebras” na voz, como ocorre na transição entre os registros modal e de falsete.

Sendo assim, diferentemente da transição entre o registro de pulso para o registro modal, que é primariamente dependente da frequência fundamental, a transição do registro modal para o registro de falsete é primariamente dependente da qualidade vocal. Em outras palavras, são características da forma de onda, mais do que da sua periodicidade, que determinam a saliência perceptiva na transição entre registros modal e de falsete.

Outros estudos científicos desenvolvidos por diferentes autores (Large, 1968; Large & Shipp, 1970; Lerman & Duffy, 1970; Large, 1972b) mostraram ser possível diferenciar e identificar perceptualmente os registros vocais de modo consistente com base na qualidade da voz, apenas.

Assim, por exemplo, as investigações descritas por Colton & Hollien (1973) relatam uma série de experimentos nos quais buscaram analisar as diferenças entre as qualidades de voz percebidas nos registros modal e de falsete.

Primeiramente, eles selecionaram um grupo de indivíduos (divididos em dois subgrupos: cantores e não cantores) que conseguiam produzir a fonação numa mesma frequência em ambos os registros. Os sujeitos deveriam então cantar primeiro no registro de falsete e depois no registro modal, em três frequências distintas, na região de *pitch* em que ambos os registros se sobrepunham. As emissões assim produzidas foram avaliadas por juízes treinados e não treinados, por meio de duas técnicas diferentes. A primeira delas consistiu a denominada de “técnica de comparação”, em que estímulos produzidos no registro modal e no de falsete, agrupados por frequência, foram apresentados aos pares. Os juízes deveriam então dizer se os estímulos apresentados tinham qualidade de voz igual ou diferente. Nessa avaliação, os juízes diferenciaram corretamente os dois registros em 95% dos casos. Na segunda delas, as emissões foram avaliadas por meio da técnica denominada de “técnica de identificação”, em que os estímulos produzidos em ambos os registros, independentemente da frequência em que foram emitidos, foram apresentados em ordem aleatória. Nessa segunda situação, os juízes conseguiram identificar corretamente a qualidade da voz como tendo sido

produzida no registro modal ou no de falsete em algo em torno de 2/3 dos casos (64%). Interessantemente, os autores referem não ter havido diferença significativa entre as respostas fornecidas pelos juízes treinados e não treinados, e entre as respostas relativas às emissões dos dois grupos de sujeitos, cantores ou não cantores, ainda que as emissões dos cantores tenham no geral resultado em respostas mais estáveis, especialmente quando se tratando de emissões cantadas nas frequências mais agudas.

Os autores concluíram que a percepção das diferenças na qualidade da voz nos registros modal e de falsete pode ser experimentalmente demonstrada e definida, e que, portanto, do ponto de vista perceptivo, ambos os registros devem ser considerados entidades distintas.

Estudos dessa mesma natureza não puderam ser desenvolvidos para investigar a percepção dos registros de pulso e modal, uma vez que esses registros não se sobrepõem em suas frequências fundamentais. Contudo, para testar o caráter único do registro de pulso, Hollien & Wendahl (1968) solicitaram a seis homens que reproduzissem tons pré-gravados, emitidos no registro de pulso, o que pôde ser feito com sucesso. Mesmo que tais dados em si mesmos não forneçam evidências primárias relacionadas à qualidade da voz no registro de pulso, foi possível aos autores inferir a existência de uma qualidade de voz prontamente identificável, com características de um som pulsátil.

Desta forma, e do mesmo modo que Titze, Hollien (1974) sustenta a idéia de que são três os registros vocais principais, cujas evidências

perceptivas podem ser cientificamente demonstradas: o registro de pulso, o registro modal e o registro (por ele denominado de) elevado.

O quadro a seguir relaciona características da qualidade da voz percebidas nos diferentes registros vocais. Ela foi proposta por Hollien, que admite o caráter especulativo dos comentários nela inseridos.

Quadro 1: Características da qualidade vocal percebida para cada um dos registros vocais
(Hollien, 1974: 131).

Registro		Pitch	Loudness	Qualidade
Pulso	Nível dentro do próprio registro	Grave	A mais suave	Sistematicamente pulsátil
	Variação dentro do próprio registro	Com variação	Sem variação	Sem variação
	Relação com o registro modal	Mais grave	Mais suave	Mais rugosa
Modal	Relação com o registro de pulso	Mais agudo	Mais intenso	–
	Nível dentro do próprio registro	Médio	Intensa	Não aplicável
	Variação dentro do próprio registro	A mais ampla	A maior faixa	A maior variação
	Relação com o registro de falsete	Mais grave	Mais intensa	–
Elevado	Relação com o registro modal	Mais agudo	Mais suave	Delicada, à vezes discretamente soprosa
	Nível dentro do próprio registro	Agudo	Média	Não aplicável
	Variação dentro do próprio registro	Com variação	Variação Moderada	Muito pequena

Finalmente, segundo Keidar *et al* (1987), duas abordagens básicas têm sido utilizadas para investigar as diferenças perceptivas entre os diferentes

registros vocais. Na primeira, o juiz é solicitado a detectar mudanças súbitas, ou quebras, na qualidade da voz, em emissões envolvendo escalas ascendentes ou descendentes. Segundo os autores, a consistência de respostas fornecidas por meio de tal estratégia tem sido questionada. Na segunda abordagem, mais aceita entre pesquisadores, são utilizados tons assim chamados por Large (1972a) de tons isoparamétricos, ou seja, tons de mesma frequência fundamental, categoria fonética e intensidade, que se distingam apenas no que se refere ao registro utilizado. O juiz é então solicitado a classificar esses sons, apresentados isoladamente ou em pares, como tendo sido produzidos em um ou em outro registro vocal. Tal abordagem teria sido considerada a mais apropriada para obter respostas consistentes por parte dos juízes. Em ambos os casos, os estímulos utilizados devem ser evidentemente representativos dos registros em questão.

Os autores finalmente referem que a possibilidade de utilização de escalas multidimensionais para avaliações da percepção poderia possivelmente fornecer um vínculo mais coerente entre medidas objetivas da produção e estratégias subjetivas da percepção.

2.2. Aspectos fisiológicos

A estrutura fisiológica das pregas vocais no ser humano adulto se adapta de modo bastante peculiar à produção da voz cantada. Se comparados aos mecanismos de produção de som em diversos instrumentos musicais, os mecanismos de produção sonora na laringe podem ser considerados

particularmente versáteis e econômicos, uma vez que podem gerar emissões infinitamente variáveis em suas características de *pitch*, *loudness* e qualidade de voz, a partir de um único e delicado aparato (Hirano, 1988).

A laringe

A laringe constitui um órgão impar que conecta a traquéia com a faringe. Suas prioridades funcionais são bastante primitivas e estão relacionadas ao exercício da função respiratória e da função esfinteriana no momento da deglutição. A laringe exerce também a função fonatória, ao que tudo indica adquirida tardiamente no processo de evolução filogenética das espécies. Diferentemente da função respiratória, regulada involuntariamente ainda que passível de ser submetida ao controle voluntário, e da função esfinteriana, essencialmente reflexa, a função fonatória, particularmente se utilizada com propósito comunicativo, constitui uma atividade eminentemente voluntária.

As dimensões da laringe variam consideravelmente em função da idade e do sexo, sendo significativamente maiores, principalmente no sentido ântero-posterior, em indivíduos adultos do sexo masculino. Ela é constituída por estruturas musculocartilaginosas, membranosas e ligamentosas e, apesar de apresentar-se sustentada e fixada, é passível de mobilidade. Sendo assim, a laringe tende, por exemplo, a se movimentar verticalmente quando sons mais agudos ou mais graves são emitidos, elevando-se na emissão de sons agudos, e abaixando-se na emissão de sons graves.

A laringe é composta por três cartilagens ímpares – a tireóidea, a cricóidea, e a epiglote; e por três cartilagens pares – as aritenóideas, as corniculadas, e as cuneiformes. De todas as cartilagens laríngeas, as

cartilagens tireóidea, cricóidea e aritenóideas são consideradas as mais importantes e, sendo assim, elas serão descritas com maiores detalhes a seguir.

A **cartilagem tireóidea** é a maior cartilagem da laringe, uma cartilagem única composta por duas lâminas laterais de forma quadrangular, e dois pares de cornos posteriores. Nos homens, o ângulo de união entre essas lâminas é de aproximadamente 90° , sendo neles facilmente observado como uma proeminência anterior de pescoço. Nas mulheres esse ângulo é mais aberto, com cerca de 120° . Esta diferença anatômica na maior cartilagem da laringe traz conseqüências importantes na fisiologia vocal de ambos os sexos, como, por exemplo, no tamanho das pregas vocais e, em conseqüência, na determinação da freqüência vocal e faixa de fonação em homens e mulheres.

A **cartilagem cricóidea** é também uma cartilagem única, a segunda maior da laringe, com formato circular, semelhante ao de um anel, com uma região anterior mais estreita, chamada arco, e com uma região posterior mais larga e mais elevada, chamada lâmina. A cartilagem cricóidea está conectada à cartilagem tireóidea por meio de pequenos feixes musculares que unem a face superior da lâmina da cartilagem cricóidea aos cornos inferiores da cartilagem cricóidea. Existe também variação importante nos diâmetros ântero-posterior e lateral da cartilagem cricóidea em função do sexo, apresentando-se em formato mais ovóide nos homens e mais circular nas mulheres. As conseqüências das diferenças anatômicas na cartilagem cricóidea em homens e em mulheres ainda não são completamente conhecidas, mas elas podem ter relação com a presença da fenda glótica posterior constitucional na mulher, devido à posição

conseqüentemente mais lateralizada das cartilagens aritenóideas no sexo feminino.

As **cartilagens aritenóideas** constituem um par de pequenas cartilagens móveis e, devido à sua importância nas funções fonatória e respiratória, podem ser consideradas unidade funcional da laringe. Ao contrário das cartilagens tireóidea e cricóidea, a forma e/ou o tamanho das cartilagens aritenóideas não variam significativamente em função do sexo. Elas apresentam um formato piramidal, com o eixo vertical maior do que o eixo horizontal, e são constituídas por uma base, três faces e um ápice. A base da cartilagem aritenóidea apresenta três ângulos. O ângulo mais anterior deles projeta-se para dentro da laringe e é chamado de processo vocal, pois nele se fixa a região posterior da prega vocal. O ângulo posterior-lateral, por outro lado, projeta-se para fora da laringe e é chamado de processo muscular, pois nele se fixam vários músculos, como os músculos cricoaritenóideo posterior (CAP), abductor da laringe, e cricoaritenóideo lateral (CAL), adutor da região anterior das pregas vocais.

As cartilagens aritenóideas repousam sobre a cartilagem cricóidea. Mais especificamente, a base da cartilagem aritenóidea, com forma côncava, repousa sobre a superfície articular da cartilagem cricóidea, com forma convexa. É nessa relação côncavo-convexa que se estabelecem os complexos movimentos das cartilagens aritenóideas, de grande importância na fonação.

Segundo van den Berg (1958), a fonação é decorrente da interação entre componentes de duas naturezas: um componente aerodinâmico, gerado a partir da passagem do fluxo do ar expiratório pelo conduto laríngeo; um

componente mioelástico, gerado pela atividade neuromuscular responsável pelo controle da massa, tensão e elasticidade das pregas vocais.

Para que se dê o início dessa interação é necessária a ação dos músculos intrínsecos da laringe sobre as estruturas musculocartilaginosas envolvidas no movimento de fechamento da glote. A passagem do ar em alta velocidade pelo espaço glótico, então estreitado e oferecendo maior resistência ao fluxo aéreo, cria uma pressão negativa nas paredes do aparelho fonador, aproximando (ou sugando) suas estruturas mais flexíveis, no caso, as mucosas das pregas vocais. A partir desta aproximação se dá o início do fenômeno vibratório das pregas vocais e, por conseguinte, do processo de fonação.

A ação específica dos músculos intrínsecos da laringe sobre o fenômeno vibratório das pregas vocais assim como os aspectos aerodinâmicos nele envolvidos serão abordados a seguir. Por ora gostaríamos apenas de chamar a atenção para a importância da atuação das cartilagens aritenóideas no exercício da função fonatória, visto que seus complexos movimentos estão diretamente relacionados ao movimento de fechamento da glote, acima referido.

Os movimentos das cartilagens aritenóideas ocorrem ao longo de um eixo vertical, em deslocamentos semelhantes aos de uma cadeira de balanço, para frente e para baixo, e para trás e para cima; e, simultaneamente, ao longo de um eixo lateral, em movimentos de rotação. Tais movimentos determinam, por assim dizer, a adução das pregas vocais, que ocorre quando o processo vocal da cartilagem aritenóide move-se para frente e para baixo, e na direção da linha média; e a abdução das pregas vocais, que ocorre quando o processo

vocal da aritenóide move-se de volta para trás e para cima, na direção contrária à da linha média.

Os movimentos das cartilagens aritenóideas, assim como das demais cartilagens laríngeas, são determinados pela tração dos diferentes músculos intrínsecos da laringe em suas diferentes direções, as quais são bastante variáveis de modo a possibilitar as mais diversas posições das cartilagens laríngeas. A diversidade de ajustes musculares das pregas vocais possibilita grande variedade de movimentos e de formas nas pregas vocais, com modificações da massa vibrante e variações na pressão aérea subglótica.

As pregas vocais

Para melhor compreendermos tamanha variabilidade de ajustes musculares e de formas das pregas vocais, as quais justamente possibilitam infinita variação nas características de *pitch*, *loudness* e qualidade da voz das emissões cantadas, descreveremos a seguir:

- A estrutura anatômica das pregas vocais;
- As atuações dos músculos intrínsecos da laringe sobre as pregas vocais;
- Os modos de oscilação das pregas vocais

Dentre as pesquisas que buscam investigar o modelo anatômico das pregas vocais e o funcionamento da musculatura intrínseca da laringe, o trabalho desenvolvido por Hirano (1974; 1988; 1993; 1996) e por Hirano *et al* (1970) constitui reconhecidamente referência para estudos na área, inclusive para as descrições que apresentaremos a seguir.

Segundo Hirano, a **estrutura anatômica das pregas vocais** pode ser compreendida a partir do assim denominado “Modelo Corpo-Cobertura”. De acordo com esse modelo, as pregas vocais constituem uma estrutura composta por camadas, cada uma delas com propriedades mecânicas distintas, sendo que quanto mais superficial a camada, mais flexível ela se apresenta.

As pregas vocais constituem duas dobras de músculo e mucosa, posicionadas horizontalmente na laringe, estendendo-se da face interna da cartilagem tireóidea, aonde se fixa a sua região anterior, a região de convergência das pregas vocais chamada de comissura anterior, até as cartilagens aritenóideas, aonde se fixam as suas regiões posteriores.

As pregas vocais são recobertas por uma fina camada chamada epitélio. Abaixo do epitélio encontra-se a lâmina própria, por sua vez dividida em três camadas. A camada superficial é chamada de espaço de Reinke, pobre em termos de componentes fibrosos e, portanto bastante flexível, sendo de extrema importância para a voz cantada. É essa camada que mais marcadamente se movimenta durante a vibração das pregas vocais.

A camada intermediária consiste principalmente de fibras elásticas semelhantes a fitas elásticas suaves, e a camada profunda consiste primariamente de fibras colágenas que podem ser comparadas a fios de algodão. Estas duas camadas juntas são chamadas de ligamento vocal.

Abaixo da lâmina própria encontra-se o músculo vocal, principal corpo das pregas vocais. Esse músculo, quando se contrai, pode ser comparado a feixes de borracha bastante rígida.

Do ponto de vista mecânico as cinco camadas histológicas das pregas vocais podem então ser reclassificadas em três seções principais:

1. A cobertura, que consiste do epitélio e da camada superficial da lâmina própria, ou espaço de Reinke;
2. A transição, que consiste das camadas intermediária e profunda da lâmina própria, ou ligamento vocal; e
3. O corpo, que consiste de tecido muscular.

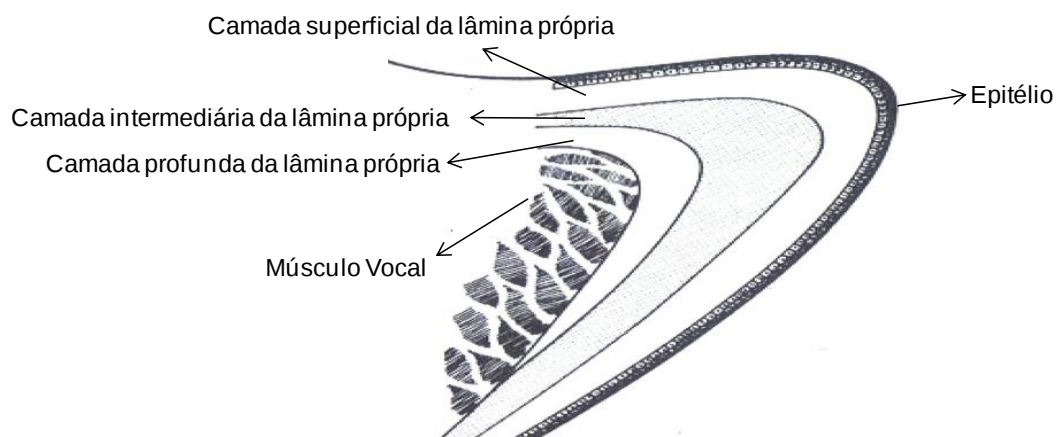


Figura 2: Representação da estrutura histológica das pregas vocais

A estrutura de camadas da borda livre das pregas vocais apresenta variações também no decorrer de seu comprimento, com uma porção membranosa na região anterior das pregas vocais, que se estende da comissura anterior até o processo vocal das cartilagens aritenóideas, e uma porção cartilaginosa na região posterior das pregas vocais, que se estende a partir do processo vocal das cartilagens aritenóideas até a região mais posterior da laringe.

Interessante observar ainda aspectos histológicos específicos relacionados ao modo como ocorrem as transições entre estruturas mais e menos flexíveis, ou seja, mais e menos vibrantes. Na região anterior da prega vocal, a camada intermediária da lâmina própria torna-se mais espessa, formando uma massa de forma oval, chamada mácula flávula anterior. Ela é composta por um enovelamento de fibras elásticas e serve como uma proteção para o impacto das pregas vocais. Anteriormente à mácula flávula existe ainda outra massa de fibras colágenas que forma o tendão da comissura anterior, semelhante a uma almofada compacta, que se conecta à própria mácula flávula, à camada profunda da lâmina própria e à cartilagem tireóidea. Assim, a tensão do tecido aumenta gradualmente, desde a flexibilidade da porção membranosa da prega vocal até a rigidez da cartilagem tireóidea.

Na região posterior da prega vocal a camada intermediária da lâmina própria torna-se também mais espessa formando uma massa de forma oval chamada mácula flava posterior. Ela também é composta por um enovelamento de fibras elásticas que se conecta ao processo vocal da cartilagem aritenóidea por meio de uma pequena estrutura transicional mais rígida do que a mácula flava, porém menos rígida do que a cartilagem.

Também, a ponta do processo vocal aonde se insere a parte posterior das pregas vocais é composta por cartilagem elástica, embora a porção principal da cartilagem aritenóidea seja composta por cartilagem hialínica. Isso significa que, novamente, há uma transição gradual da tensão, desde a flexibilidade da porção membranosa da prega vocal até a rigidez da cartilagem aritenóidea.

Finalmente, toda a prega vocal é então recoberta por mucosa laríngea, intimamente aderida à borda livre das pregas vocais.

Suposições com relação aos possíveis benefícios que uma estrutura de camadas tal qual a apresentada pelas pregas vocais pode oferecer à situação de produção do canto, especialmente se comparada a uma estrutura (apenas) uniforme, podem ser levantadas. É certo que diferentes camadas possibilitam diferentes ajustes dos músculos laríngeos e variedade consideravelmente maior nas propriedades mecânicas da vibração das pregas vocais. Além disso, as mudanças graduais verificadas na estrutura das pregas vocais contribuem para maior estabilidade da porção membranosa das pregas vocais, exercendo, provavelmente, papel de proteção de sua parte membranosa em relação à fonotraumas, por exemplo.

A função fonatória depende da **atuação dos músculos laríngeos intrínsecos sobre as pregas vocais**. Os músculos laríngeos intrínsecos correspondem aos músculos com origem e inserção na própria laringe, diferentemente dos músculos laríngeos extrínsecos, que apresentam uma das inserções na laringe e a outra fora dela, no tórax, mandíbula ou crânio.

Os músculos laríngeos intrínsecos possuem relação direta com a função fonatória, sendo responsáveis pelos movimentos de adução e de abdução das pregas vocais, assim como pela tensão propriamente dita das mesmas. São eles: os tireoaritenóideos (TA), os cricotireóideos (CT), os cricoaritenóideos posteriores (CAP), os cricoaritenóideos laterais (CAL), os aritenóideos (AA), os ariepiglóticos (AE) e os tireoepiglóticos (TE). Desses, os cinco primeiros são

considerados os mais importantes, e suas respectivas atuações serão descritas a seguir. Sendo assim:

1. A contração dos músculos **TA** resulta na adução, no encurtamento e no espessamento das pregas vocais, principalmente de sua porção membranosa. Além disso, sua parte mais anterior se abaixa e suas bordas se arredondam. A mucosa que recobre as pregas vocais fica mais frouxa, enquanto que o músculo, ou o corpo, fica mais enrijecido. Ou seja, cobertura e corpo recebem ajustes completamente diferentes em função da contração dos TA.

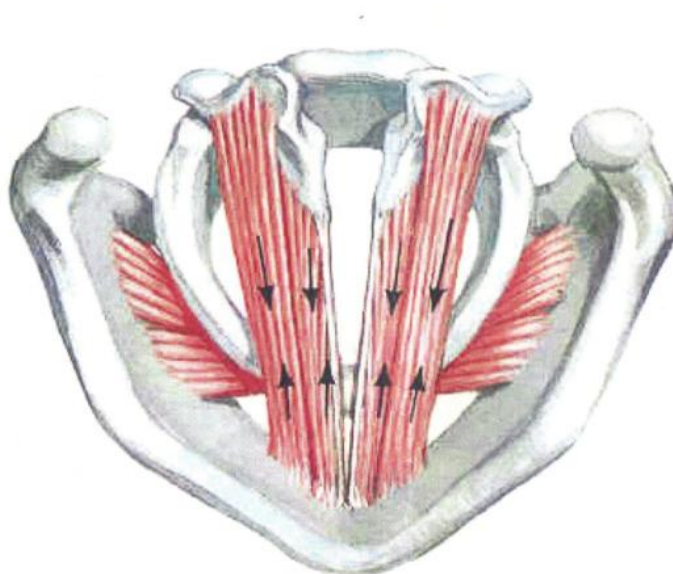


Figura 3: Visão superior da laringe, mostrando a atividade isolada dos músculos TA

(Netter, 1999: 90).

Os músculos TA têm sua origem no ângulo da cartilagem tireóidea e se inserem principalmente no ângulo do processo vocal, apresentando também extensão em direção ao processo muscular da cartilagem aritenóidea.

Embora deva ser considerado como um músculo único com diversas funções, do ponto de vista anatômico e biomecânico é possível distinguir nos TA dois compartimentos principais:

- O músculo tireovocal, comumente chamado de músculo vocal, que corresponde ao feixe medial (ou interno) dos TA e percorre toda a extensão das pregas vocais, formando o seu corpo e se inserindo no processo vocal da cartilagem aritenóidea. A participação desse músculo na produção da fonação é bastante ativa, vibrando de modo sincronizado com a vibração da mucosa, ainda que não de modo tão amplo e vigoroso. A contração do músculo tireovocal mantém a prega vocal rígida independentemente de seu comprimento. Sua atuação está envolvida com mecanismos refinados da fonação, atuando principalmente no controle da frequência da fonação;

- O músculo tireomuscular, que corresponde ao feixe lateral (ou externo) dos TA e se insere no processo muscular da cartilagem aritenóidea. Esse músculo aparentemente está mais envolvido com a adução das pregas vocais e com o aumento da resistência glótica, atuando, portanto, no controle da intensidade vocal.

Em sinergia com outros músculos laríngeos internos, principalmente com os músculos CT (a serem descritos a seguir), os TA regulam a tensão longitudinal das pregas vocais, estabilizando a extensão das mesmas em ajustes musculares os mais diversos, possibilitando a produção de grande faixa de frequências de fonação.

2. A contração dos **músculos CT** resulta na movimentação da comissura anterior para frente e para baixo, e em direção ao lado contralateral,

alongando, tensionando e afinando as pregas vocais, que são discretamente aduzidas para a área média.

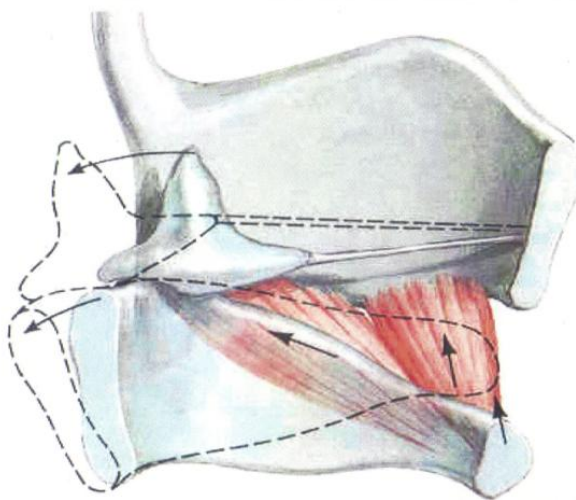


Figura 4: Visão medial da laringe, mostrando a atividade isolada dos músculos CT

(Netter, 1999: 90).

Os músculos CT unem a região anterior da cartilagem cricóideia com as paredes laterais da cartilagem tireóideia. As fibras dos CT podem ser divididas em duas porções distintas com funções supostamente também diferenciadas:

- A parte oblíqua, com fibras que seguem para cima e para trás, e se inserem na margem anterior do corno inferior da cartilagem tireóideia. A atuação desta porção dos músculos CT está supostamente relacionada ao controle da estabilidade laríngea;
- A parte reta, com fibras que seguem quase verticalmente e se inserem na margem inferior interna da lâmina tireóideia. A atuação dessa parte dos músculos CT está supostamente relacionada ao controle da frequência de emissão vocal.

A contração dos músculos CT aproxima as cartilagens cricóidea e tireóidea em suas regiões anteriores, ao mesmo tempo em que as afasta em suas regiões posteriores, principalmente pelo deslocamento da cartilagem tireóidea para baixo, mas também da cartilagem cricóidea para cima, num movimento conhecido como movimento de báscula. Em consequência, as pregas vocais se alongam e a quantidade de onda mucosa solta para vibrar é reduzida.

Em sinergia com outros músculos laríngeos internos, principalmente com os músculos TA, os CT regulam a tensão longitudinal das pregas vocais, estabilizando o seu comprimento em vários ajustes, possibilitando a produção de grande faixa de frequências fundamentais.

3. A contração dos **músculos CAP** resulta em abdução acentuada das pregas vocais, que são alongadas, tensionadas, discretamente afinadas e elevadas em sua parte posterior. Suas bordas ficam mais arredondadas e sua cobertura fica reduzida.

Os músculos CAP têm origem na lâmina da cartilagem cricóidea e inserção no processo muscular da cartilagem tireóidea. Eles são divididos em dois compartimentos:

- Vertical, que determina o movimento de balanço das cartilagens aritenóideas, deslizando-as para trás e para a lateral, abduzindo as pregas vocais;
- Horizontal, que determina a rotação lateral das cartilagens aritenóideas, atuando no ajuste refinado da posição das pregas vocais e de sua estabilidade.

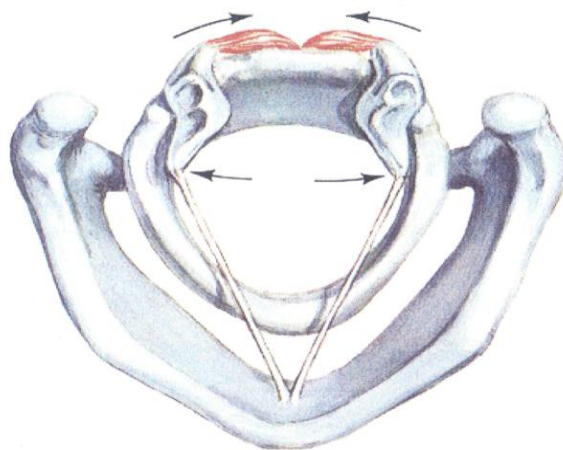


Figura 5: Visão superior da laringe, mostrando a atividade isolada dos músculos CAP
(Netter, 1999: 90).

A abdução das pregas ocorre justamente pela estimulação simultânea desses dois compartimentos, o que faz com que o processo vocal da aritenóide se mova para trás e para cima, e também lateralmente, deslocando as cartilagens aritenóideas para trás e para o lado.

3. A contração dos **músculos CAL** resulta em adução e abaixamento discreto das pregas vocais, que são alongadas, tensionadas e afinadas. Tanto mucosa como músculo aparecem reduzidos.

Os músculos CAL conectam a margem superior da cartilagem cricóidea com o processo muscular das cartilagens aritenóideas. A adução das pregas ocorre justamente pela atuação dos músculos CAL ao deslocar o processo vocal da cartilagem aritenóidea para frente e para baixo, e na direção da linha média, deslocando as cartilagens aritenóideas para frente e em direção à linha média. Os músculos CAL são responsáveis pela adução da porção média-anterior das pregas vocais. Para que uma adução completa ocorra, é também necessária a participação dos músculos AA, a serem descritos a seguir.

Em sinergia com outros músculos laríngeos internos, os músculos CAL participam também do controle da frequência fundamental, da determinação da pressão subglótica e da intensidade vocal.

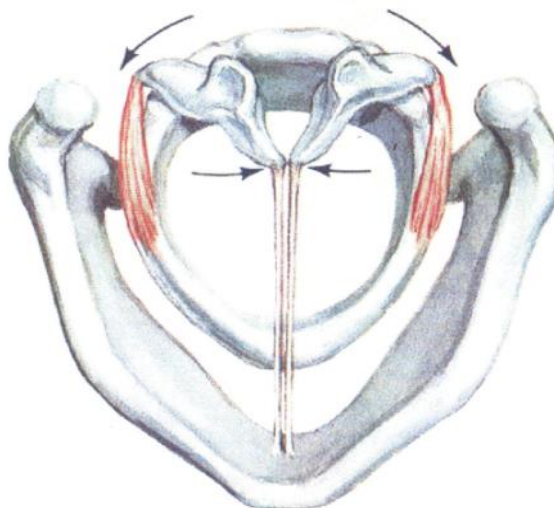


Figura 6: Visão superior da laringe, mostrando a atividade isolada dos músculos CAL
(Netter, 1999: 90).

4. A contração dos **músculos AA** resulta em adução da parte posterior ou cartilaginosa das pregas vocais. Esta contração ocasiona alterações mínimas na estrutura interna das pregas vocais.

Os músculos aritenóideos situam-se entre as duas cartilagens e possuem dois feixes:

- O feixe transverso, horizontal, que une uma à outra cartilagem aritenóidea, se inserindo em seus processos musculares, bilateralmente. Sua ação faz as bases das cartilagens aritenóideas se aproximarem;
- O feixe oblíquo, mais superficial do que o feixe transverso, constituído por dois feixes cruzados, que unem a base de uma cartilagem

aritenóidea ao ápice da outra. Sua ação faz os ápices das cartilagens aritenóideas se aproximarem.

A ação simultânea desses dois feixes aproxima as cartilagens aritenóideas e regula a compressão medial das pregas vocais.

Em sinergia com outros músculos laríngeos internos, atuam no fechamento glótico e na adução completa das pregas vocais, tornando possível o estabelecimento da pressão subglótica necessária para a fonação.

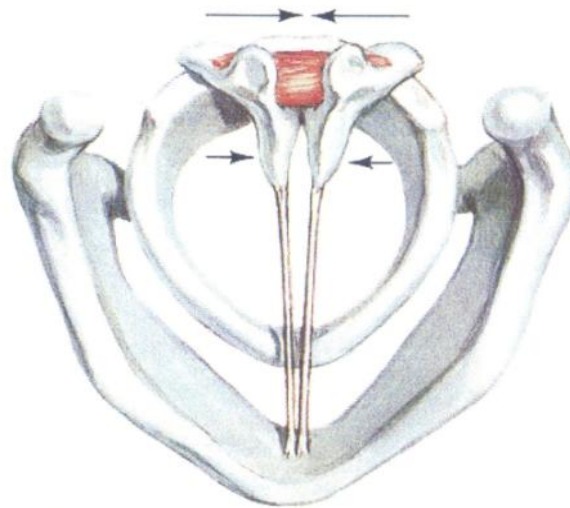


Figura 7: Visão superior da laringe, mostrando a atividade isolada dos músculos AA
(Netter, 1999: 90).

Sendo assim:

- As pregas vocais são encurtadas pela ação dos TA e alongadas pela ação dos CT e dos CAP;
- As pregas vocais são espessadas pela ação dos TA e afinadas pela ação dos CT;
- Suas bordas ficam arredondadas pela atuação dos TA, e tornam-se mais angulosas pela atuação dos CT;

- O corpo das pregas vocais é passivamente tensionado pelos CT e ativamente tensionado pelos TA;
- A cobertura das pregas vocais é tensionada pela ação dos CT e é relaxada pela ação dos TA;
- O nível das pregas vocais é abaixado pela atuação dos CAL; o nível das pregas vocais é elevado pela atuação dos CAP;
- As pregas vocais são aduzidas, de diferentes modos, pela ação dos TA, dos CAL e dos AA, e são abduzidas pela ação dos CAP.

Está claro, portanto, que a atuação sinérgica dos cinco principais músculos laríngeos sobre as pregas vocais cria, a partir dos movimentos de adução e abdução das pregas vocais, as condições necessárias para que se dê início à fonação. Está claro, também, que as ações desses mesmos músculos podem combinar-se de inúmeras formas e assim criar grande diversidade de modos de oscilação das pregas vocais assim como de qualidades de vozes produzidas.

Os **modos de oscilação das pregas vocais**, por sua vez, estão diretamente relacionados à sua estrutura de camadas. O modelo de estrutura de camadas das pregas vocais foi primeiramente introduzido pelo foneticista Sven Smith (Smith, 1954; 1956). As investigações relacionadas às bases histológicas da função vibratória foram então desenvolvidas por Hirano (1974; 1981; 1983).

O mecanismo vibratório que gera o som vocal é um mecanismo complexo que envolve tanto a cobertura (epitélio e camada superficial da lâmina própria, ou espaço de Reinke) como o corpo (camadas intermediária e

profunda da lâmina própria, ou ligamento vocal, e músculo vocal, ou feixe medial dos TA) das pregas vocais. Porém, são justamente os movimentos da cobertura em relação ao corpo durante a vibração os que se apresentam como de especial interesse para a produção da voz (Lindestad, 1994).

Esses movimentos ocorrem no plano horizontal, com o deslocamento da mucosa no sentido medial-lateral; no plano longitudinal, com deslocamento da mucosa no sentido anterior-posterior; e no plano vertical, com deslocamento da mucosa de baixo para cima, em função da diferença vertical de fases de abertura e fechamento das pregas vocais.

Uma visão superior das pregas vocais, como, por exemplo, a que oferecem exames clínicos como o de estroboscopia laríngea, permite observar a parte superior desta “onda mucosa”, em movimentos horizontais e longitudinais (Cooper, 1988). Mais recentemente, com o surgimento da videoquimografia (Svec & Schutte, 1996), também os importantes movimentos verticais da onda mucosa puderam ser visualizados, os quais envolvem a maior parte dos tecidos que revestem as pregas vocais.

As propriedades vibratórias da mucosa sofrem influências diretas das mudanças na configuração das pregas vocais, como as relacionadas ao seu comprimento ou espessura. Sendo assim, quanto mais encurtadas as pregas vocais, mais espessos e relaxados os tecidos que as revestem; quanto mais alongadas as pregas vocais, mais finos e tensos os tecidos que as revestem. Estas mudanças na configuração das pregas vocais influenciam seus modos de oscilação, com modificações nas formas e localização espacial dos tecidos que recobrem as pregas vocais, modificando as características do espectro da

fonte vocal e da qualidade da voz. Aparentemente, existe uma interação bastante delicada entre músculos e mucosa nos diferentes modos de oscilação das pregas vocais durante a produção do som vocal (Titze, 1989; Titze 1993).

Os registros vocais

Os modos como as pregas vocais oscilam em emissões realizadas em diferentes regiões de *pitch*, ao longo da faixa da frequência de fonação, diferem entre si. Tais diferenças normalmente apresentam-se mais evidentes quando são comparadas, por exemplo, emissões produzidas nos extremos da faixa de frequência da fonação. Do ponto de vista fisiológico, tais diferenças podem ser entendidas como diferenças nas propriedades vibratórias da mucosa, decorrentes de mudanças na configuração das pregas vocais, como as relacionadas ao seu comprimento ou espessura. Na situação de canto, as diferenças de qualidade de voz associadas aos diferentes modos de vibração das pregas vocais podem ser percebidas como associadas aos diferentes registros da voz.

Por muitos anos, os estudos da fisiologia da função laríngea investigaram apenas um registro vocal, usualmente o registro modal. Comparações entre dados obtidos para diferentes registros vocais (por meio de uma mesma técnica) foram e ainda têm sido relativamente raras.

O estudo dos aspectos fisiológicos dos registros vocais se defronta com duas limitações principais: a das técnicas e a dos sujeitos. Muitas das técnicas para estudos fisiológicos do funcionamento da fonte glótica são mais ou menos invasivas e com frequência levam o sujeito a comportar-se de modo atípico na situação de experimento. Além disso, as diferenças entre treinamento prévio

dos sujeitos podem levá-los a utilizar diferentes estratégias quanto ao uso dos músculos laríngeos.

Métodos indiretos, incluindo estudos em animais, laringes excisadas, simulações em computador e discussões teóricas, úteis para levantar conjecturas a respeito dos mecanismos de produção da voz no canto são, por vezes, limitados no que se refere ao fornecimento de informações relacionadas diretamente aos diversos aspectos envolvidos nos diferentes registros vocais.

Ainda assim, a utilização de técnicas de imagem possibilitou, já na década de 60, a obtenção de informações importantes relativas à extensão e à espessura das pregas vocais no diferentes registros da voz, particularmente nos registros modal e de falsete (Hollien, 1960; Hollien & Moore, 1960; Hollien, 1962; Hollien & Coleman, 1970; Hollien, Brown & Hollien, 1971).

Tais estudos encontraram no registro modal um aumento sistemático da extensão das pregas vocais associado ao aumento da frequência de fonação. O comprimento das pregas apresentou variação de 5 mm, em média, ainda que pudesse a mesma chegar a até 10 mm em certos indivíduos. No registro de falsete, de outra parte, não foram observados padrões sistemáticos de alongamento ou de encurtamento das pregas vocais relacionados à mudança de frequência da fonação.

Quanto à espessura das pregas vocais, os estudos mostraram que no registro modal ela diminuiu sistematicamente na medida em que a frequência fundamental da fonação se elevou e, correspondentemente, não sofreu alteração significativa em emissões produzidas na mesma frequência fundamental, independentemente do tipo de voz ou do sexo do cantor. No

registro de falsete, por outro lado, as pregas vocais apresentaram-se consideravelmente menos espessas e mais alongadas sendo que, nesse registro, não foram encontradas correlações sistemáticas entre espessura e frequência fundamental.

Também o uso da eletromiografia mostrou-se particularmente interessante como instrumento para investigações do funcionamento laríngeo nos diferentes dos registros vocais (Hirano *et al*, 1970; Hirano, 1988), pela detecção dos sinais elétricos relacionados à atividade de cada um dos músculos estudados.

Em estudo específico, Hirano (1988) comparou primeiramente a atividade muscular em emissões produzidas num mesmo *pitch* e em diferentes registros. Depois ele investigou as diferenças entre o padrão da atividade muscular nos diferentes registros em situação de canto.

Os resultados encontrados na primeira investigação mostraram que quanto mais “pesado” o registro, maior a atividade do músculo vocal, ou seja, do feixe medial (ou interno) dos músculos TA. Também as atividades dos músculos CAL e dos músculos AA apareceram maiores nos registros mais “pesados”, ainda que, contudo, não de modo não tão consistente como a atividade do músculo vocal. Além disso, a consistência entre as modificações na atividade do CT associadas às mudanças entre os registros vocais para emissões produzidas num mesmo *pitch* variou entre os sujeitos estudados, tendendo de qualquer modo a ocorrer um aumento dessa atividade nas emissões produzidas em registros mais “leves”. No caso, o autor considerou para estudo os seguintes registros (do mais grave ao mais agudo): registro de

peito, registro médio, registro de cabeça (os quais corresponderiam a subdivisões do registro modal).

Os resultados encontrados na segunda investigação mostraram que o músculo vocal apresentou mudança importante de atividade associada à mudança de registros. Mudanças dos registros “pesados” para os registros mais “leves” foram sempre acompanhadas por uma diminuição na atividade do músculo vocal, e vice-versa. Também diminuíram as atividades dos músculos CAL e AA, embora tais modificações tenham sido consideravelmente menos consistentes do que as modificações nas atividades do músculo vocal.

Partindo de seus resultados, o autor desenvolve então abordagem detalhada quanto à provável participação de cada um dos principais músculos laríngeos intrínsecos nos registros modal e de falsete.

Assim, segundo o autor, no registro modal as atividades dos CT, dos CAL e dos músculos vocais estão sempre relacionadas à variação da frequência de fonação. Tanto os músculos CT como os músculos CAL alongam e tensionam as pregas vocais, exercendo assim sua influência no aumento da frequência de fonação. Desses, os músculos CT são os que constituem os principais agentes controladores da frequência de fonação, contudo.

Também os CAP são discretamente ativados em emissões em tons mais agudos, aparentemente para fixar a cartilagem aritenóidea em contraposição à forte contração anterior dos CT. Além disso, a atividade dos músculos AA aumenta com o aumento da frequência de fonação, embora sem apresentar mudança estreitamente vinculada às mudanças da frequência de fonação, do modo como ocorre com outros músculos. Finalmente, os músculos CAL e vocal

podem ter funções adicionais além de suas atuações diretamente relacionadas às variações da frequência de fonação. Isto porque a contração dos CT tende a abduzir as pregas vocais e a abrir a glote quando a prega vocal está localizada na linha mediana. Sendo assim, o aumento simultâneo na atividade dos músculos CAL e do músculo vocal durante o aumento da frequência de fonação deve contribuir para evitar que ocorra uma abertura passiva causada pelo aumento da atividade dos CT.

Finalmente, os músculos vocais encontram-se bastante ativos no registro modal, regulando a tensão das pregas vocais e criando uma estrutura vibrátil espessa e profunda. O fechamento glotal se inicia já na parte mais inferior das pregas vocais. Há um envolvimento completo de toda a prega vocal na vibração com o estabelecimento de uma onda mucosa bastante definida.

No registro de falsete, o mecanismo de controle da frequência de fonação é discretamente diferente desse mesmo mecanismo no registro modal. As atividades dos CT, dos CAL, e dos músculos vocais não necessariamente estão relacionadas às variações da frequência da fonação, ainda que sejam raras as situações de canto em que nenhum desses três músculos mostrem atividades positivamente relacionadas à ela. Os CT, que desempenham o papel mais importante no controle da frequência de fonação no registro modal, nem sempre atuam neste mesmo tipo de controle no registro de falsete. Já a atividade dos AA apresenta-se maior quanto maior a frequência, embora também não necessariamente esteja diretamente relacionada à variação da frequência de fonação nesse registro.

A atuação dos músculos vocais no registro de falsete é bastante reduzida se comparada com a sua atuação no registro modal. O fechamento glotal completo não ocorre e as pregas aumentam ou diminuem a área glotal, a qual, contudo, nunca chega à zero. A estrutura vibrátil das pregas vocais é rígida e pouco espessa, e apenas parte das pregas vocais está envolvida na vibração. Não é possível enxergar uma onda mucosa clara.

Ou seja, segundo Hirano, quando se trata da regulação da extensão das pregas vocais e da frequência de fonação, os músculos CT aparentemente estão sempre envolvidos no controle desta frequência no registro modal, mas nem sempre no registro de falsete.

O autor afirma assim que os registros vocais são regulados basicamente pela relação entre as atividades dos músculos TA e CT. A atuação dos músculos vocais pode estar envolvida tanto em situações de diminuição da frequência da fonação, quando resulta em encurtando das pregas vocais, como em situações de elevação dessa frequência, quando, em ação conjunta à ação dos músculos CT, atua de modo isométrico na manutenção da tensão longitudinal das pregas vocais, independentemente de sua extensão. E, de fato, se em emissões no registro modal os músculos vocais não aumentarem a sua atividade em paralelo ao aumento da atividade dos CT na elevação da frequência de fonação, uma mudança entre registros poderá ocorrer, com tendência ao estabelecimento de um registro mais “leve”. Para que o mesmo registro, no caso o modal, seja mantido, a atividade simultânea dos músculos vocais é necessária.

Quando a relação entre as atividades dos músculos vocais e dos músculos CT é modificada gradualmente, a mudança entre registros pode não ser percebida claramente. Quando essa relação muda bruscamente, uma quebra entre registros é claramente ouvida, associada a uma descontinuidade entre diferentes modos de vibração das pregas vocais. Cantores treinados podem aprender a relaxar gradualmente os músculos vocais com o treino, ao mesmo tempo em que gradualmente contraem o CT, ou vice-versa, na medida em que a frequência de fonação se altera. A transição resultante pode chegar a ser muito suave, e não ser percebida como quebra de registros.

A ilustração a seguir, proposta por Hirano (1988) ilustra a suposta relação entre as atividades dos músculos TA e CT nos diferentes registros vocais e em função dos diferentes tipos de transição entre os registros modal e de falsete.

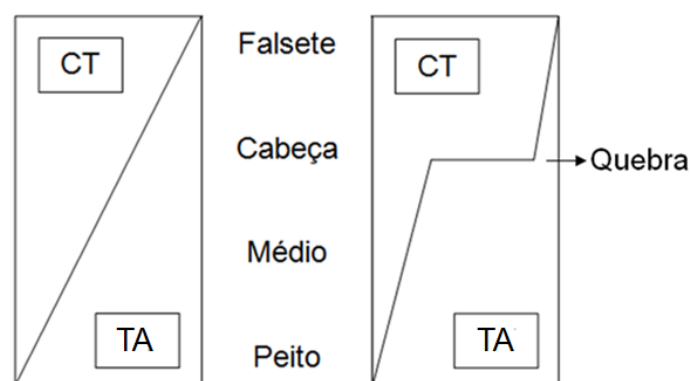


Figura 8: Esquema proposto por Hirano para representar as atividades dos músculos TA e CT nos diferentes tipos de transição entre os registros vocais (Hirano, 1988: 59).

Conclui o autor que os registros vocais sofrem influências também de outros fatores diversos, incluindo atividades de outros músculos laríngeos e ressonâncias supra e subglóticas. O controle da influência desses fatores é

muito importante no desenvolvimento das técnicas de canto, mas, ainda assim, o agente básico que determina a mudança entre registros constitui aparentemente a interação entre os músculos TA e CT.

Finalmente, Hirano realizou também investigações relacionadas ao controle da intensidade nos diferentes registros, considerando que a intensidade vocal está positivamente relacionada à pressão subglótica, por sua vez determinada pela resistência glótica diante do fluxo de ar determinado pelos músculos respiratórios.

Seus dados mostraram que no registro modal o músculo que apresenta maior variação relacionada à variação da intensidade é o músculo vocal. Principalmente em cantores, a atividade do músculo vocal muda significativamente em relação à intensidade, independentemente da frequência de fonação. Também em sujeitos não treinados uma mudança semelhante é observada para emissões em frequência de fonação grave, esta, contudo, não tão acentuada como a que acontece no caso dos cantores. Assim também, em sujeitos não treinados os músculos vocais não contribuem para a regulação da intensidade de emissões em frequências de fonação elevadas. Esses dados sugerem que um bom controle do músculo vocal constitui um dos fatores mais importantes para a proficiência da técnica vocal.

Também a atividade dos CAL e dos AA aumenta com o aumento da intensidade vocal, embora não de modo tão consistente como ocorre com os músculos vocais. A atividade dos CT, por outro lado, é normalmente inversamente relacionada à intensidade vocal. Isto provavelmente porque as mudanças na pressão subglótica e as mudanças na atividade do músculo

adutor que acompanham o aumento da intensidade vocal, se isoladas, poderiam também causar um aumento na frequência da fonação, algo em torno de 4 Hz por cm de H₂O (Sundberg, 1987). Sendo assim, é possível que a atividade dos CT tenha que ser gradualmente reduzida para que a frequência da fonação seja mantida constante. Finalmente, quando a intensidade aumenta e a frequência da fonação decresce, ainda assim a atividade dos músculos vocais aumenta, enquanto que as atividades dos músculos CAL e CT diminuem.

No registro de falsete aparentemente nenhum dos músculos laríngeos apresentou contribuição evidente na determinação da intensidade de voz, sugerindo que a intensidade no registro de falsete deva ser controlada basicamente pela pressão imposta pelos músculos respiratórios. Já a atividade dos CT, dos CAL e dos TA mostra uma relação inversa com a intensidade da voz neste registro, provavelmente para manter a frequência de fonação constante diante das diferentes pressões do fluxo de ar. De fato, a relação entre o aumento do fluxo de ar e o aumento da intensidade do som ocorre tanto no registro modal como no de falsete. Contudo, a relação entre fluxo de ar e intensidade é mais evidente no registro de falsete.

É evidente que, na prática do canto, os ajustes que controlam o registro vocal, a frequência de fonação e a intensidade da voz ocorrem simultaneamente, interagindo em suas funções. Por exemplo, ao elevar o *pitch*, o cantor aumenta a atividade dos CT, e assim fazendo, diminui o efeito dos músculos vocais, cuja atuação é antagônica à dos músculos CT. Tais ajustes concomitantes resultam num registro mais “leve”. Inversamente, nas emissões em *pitch* mais grave, o registro tende a apresentar-se mais “pesado”. Ou

também, ao elevar a intensidade, o cantor aumenta a atividade dos músculos adutores, resultando em um registro mais “pesado”. Inversamente, um decréscimo na intensidade da voz tende a ser associado com maior “leveza” nos registros vocais.

Os cantores treinados podem desenvolver habilidades para modificar tais tendências, contudo, combinando diferentemente características de intensidade e de frequência de voz nos diferentes registros vocais. Variações de frequência associadas ao aumento da intensidade, aceitáveis na fala, tornam-se inaceitáveis no canto. E, sendo assim, o cantor deve aprender a controlar separadamente cada uma das dimensões da voz, de modo a dominar grande diversidade de possibilidades fonatórias que o permita expressar as sutilezas da emoção por meio do canto.

Sendo assim:

- Os músculos CT exercem grande contribuição para a determinação do registro vocal e da frequência de fonação;
- Os músculos TA exercem grande contribuição para a determinação do registro vocal e da intensidade, e relativa contribuição para a determinação da frequência de fonação;
- Os músculos CAL exercem relativa contribuição para a determinação do registro, da intensidade e da frequência de fonação;
- Os músculos AA exercem relativa contribuição para a determinação do registro, da intensidade e da frequência de fonação. (A função primária dos AA aparentemente constitui a adução das pregas vocais. Outros

músculos contribuem também para a adução das pregas vocais, embora esses exerçam também outras funções além da de adução);

- Os músculos CAP não contribuem grandemente para o controle da voz no canto. Sua função está principalmente voltada para a adução das pregas vocais.

Finalmente, os músculos respiratórios contribuem grandemente para regulação da intensidade vocal.

Numa tentativa de esquematizar as bases fisiológicas dos diferentes registros vocais e os fatores que os diferenciam, Hollien (1974) propõe o quadro que se segue. Os dados estão relacionados à frequência de fonação, uma vez que as relações entre os mesmos com a intensidade foram consideradas pelo autor não claras ou irrelevantes.

Quadro 2: Aspectos fisiológicos relacionados aos registros vocais (Hollien, 1974: 135).

Registro	Parâmetros	Comprimento das pregas vocais	Espessura das pregas vocais	Padrões Vibratórios
Pulso	Nível dentro do registro	Relativamente pequeno	Pregas ventriculares encobrem as pregas vocais	Pulso curto, fase fechada bastante prolongada
	Variação dentro do registro	Não varia	Não há variação sistemática	Pouca ou praticamente nenhuma
	Relação com o registro modal	A mesma que a de F0 grave do modal	Mais espessa	Fase aberta muito menor
Modal	Relação com o registro de pulso	A mesma ou mais longa	A mesma ou mais fina	Fase aberta muito maior
	Nível dentro do registro	Categoria não relevante	Categoria não relevante	Geralmente abertura e fechamento triangulares tendendo a não apresentar fase fechada
	Variação dentro do registro	De bastante curta até bastante longa	De bastante espessa até bastante fina	Variação na forma da onda e fase fechada em função da frequência da fonação
	Relação com o registro elevado	A mesma tendendo a mais encurtada	A mesma tendendo a mais espessa	Forma da onda mais definida
Elevado	Relação com o registro modal	Semelhante ao modal em frequências elevadas	Semelhante ao modal em frequências elevadas	Inclinação de abertura e de fechamento mais graduais
	Nível dentro do registro	Relativamente longa	Fina	Pequena amplitude, pequeno ou sem fase fechada
	Variação dentro do registro	Variação não padronizada	Sem variação	Pequena variação

3.3. Aspectos aerodinâmicos e acústicos

A fonação

A vibração das pregas vocais converte energia aerodinâmica em energia acústica. Ela ocorre a partir da interação entre um componente mioelástico e um componente aerodinâmico (Van Den Berg, 1958). Na fonação, o componente mioelástico é determinado pela adução das pregas vocais na linha média, e o componente aerodinâmico é determinado pelas forças relacionadas ao fluxo do ar expiratório.

A teoria mais conhecida sobre como as ondas mucosas são iniciadas e sustentadas é a Teoria Aerodinâmica-Mioelástica da vibração das pregas vocais (Van den Berg, 1958). Segundo essa teoria, a vibração das pregas vocais ocorre quando:

- As pregas vocais são aduzidas o suficiente para criar uma glote suficientemente estreita;
- As faces das pregas vocais são suficientemente complacentes e elásticas;
- A pressão induzida pela força do fluxo aéreo é suficientemente grande.

A fonação se inicia, portanto, pela atuação das forças aerodinâmicas do fluxo de ar sobre as faces suficientemente complacentes e elásticas das pregas vocais aduzidas em posição fonatória.

Cada ciclo oscilatório de adução das pregas vocais determina a alternância entre uma fase fechada e uma fase aberta. A adução das pregas vocais durante a fase fechada de cada ciclo resulta em aumento da resistência das pregas vocais diante do fluxo do ar expirado, e, conseqüentemente, em aumento da pressão de ar subglotal. Esse aumento da pressão do ar a certo ponto torna-se suficiente para vencer a resistência glótica e alterar a posição das camadas dos tecidos das pregas vocais, afastando-as uma da outra e desencadeando uma fase aberta.

Em determinada época, chegou-se a considerar que o próprio Efeito de Bernoulli (relação entre a velocidade do fluxo de ar e o estreitamento glótico, que causa efeito de sucção das pregas vocais) traria as pregas vocais de volta para a posição de fase fechada. Titze, no entanto, colocou algumas ressalvas a tal teoria (Titze, 1988) sugerindo que as maiores influências para o retorno das pregas vocais à posição fechada constituem de fato:

- As propriedades elásticas e de constrição das pregas vocais em si mesmas, que as trazem de volta ao fechamento;
- A sincronicidade entre o fluxo de pressão subglotal e a alteração na velocidade da onda durante os ciclos de onda mucosa.

Ou seja, com a gradativa diminuição da pressão subglótica na medida em que o ar passa por meio da glote, a força que mantém as pregas vocais separadas é reduzida. Pelo efeito conjunto desses fatores, a manutenção da força adutora intrínseca, a elasticidade dos tecidos e o Efeito de Bernoulli, as pregas vocais são reaproximadas. Assim que a glote se fecha, a pressão subglótica volta a aumentar e o processo vibratório recomeça.

Aspectos aerodinâmicos estudados relativos aos diferentes registros vocais incluem: pressão subglótica, fluxo de ar e resistência glotal.

Faixas de fonação

Estudo de Hollien & Michel (1968), partindo do pressuposto de que são três os registros principais da voz humana, encontraram em seus sujeitos - 12 homens e 11 mulheres - faixas específicas de frequência fundamental correspondentes a cada um destes três registros e para cada um dos sexos: entre 7 e 78 Hz para o registro de pulso, entre 71 e 561 Hz para o registro modal, e entre 156 e 795 Hz para o registro de falsete em homens; e entre 2 e 78 Hz para o registro de pulso, entre 122-798 Hz no registro modal, e entre 210-1729 Hz no registro de cabeça em mulheres. Os dados obtidos para ambos os sexos foram bastante semelhantes excetuando as faixas máximas encontradas nos registros modal e de cabeça para as mulheres, três ou quatro tons mais elevados do que os dos homens, ou seja, entre 122-798 Hz no registro modal, e entre 210-1729 Hz no registro de cabeça. Surpreendentemente, a faixa de frequência do registro de pulso foi quase idêntica para ambos os sexos: de 7 a 78 Hz nos homens e entre 2 e 78 Hz nas mulheres.

Sendo assim, e em termos gerais, estudos têm sugerido que a faixa de frequência média de fonação que abrange os registros modal e de falsete é de aproximadamente três oitavas, e varia entre 27 e 54 semitons, tanto para homens e mulheres, como para cantores e não cantores. Sugerem ainda que, na média, a faixa de frequência de fonação nos registros de pulso e de falsete

abrange algo em torno de uma oitava, enquanto que a do registro modal entre uma oitava e meia e duas oitavas.

Os limites entre essas faixas variam de indivíduo para indivíduo e normalmente há sobreposição entre registros, com regiões contendo frequências de fonação que podem ser emitidas em diferentes registros vocais. Nas vozes masculinas, a sobreposição no caso entre o registro modal e o de falsete ocorre normalmente entre 200 Hz e 350 Hz (G3 – F4) aproximadamente. Nas vozes femininas, a sobreposição entre o registro de peito e o registro médio ocorre em torno de 400 Hz (em torno de G4) aproximadamente, e entre o registro médio e o de cabeça em torno de 660 Hz (em torno de E5) aproximadamente (Sundberg, 1987).

A Figura 9 ilustra as correspondências entre as notas de um piano, suas representações num pentagrama, seus nomes de *pitch* (em letras maiúsculas e números) e suas respectivas frequências fundamentais. Os nomes de *pitch* são os mesmos que serão utilizados no estudo experimental a ser descrito no capítulo quatro desta tese.

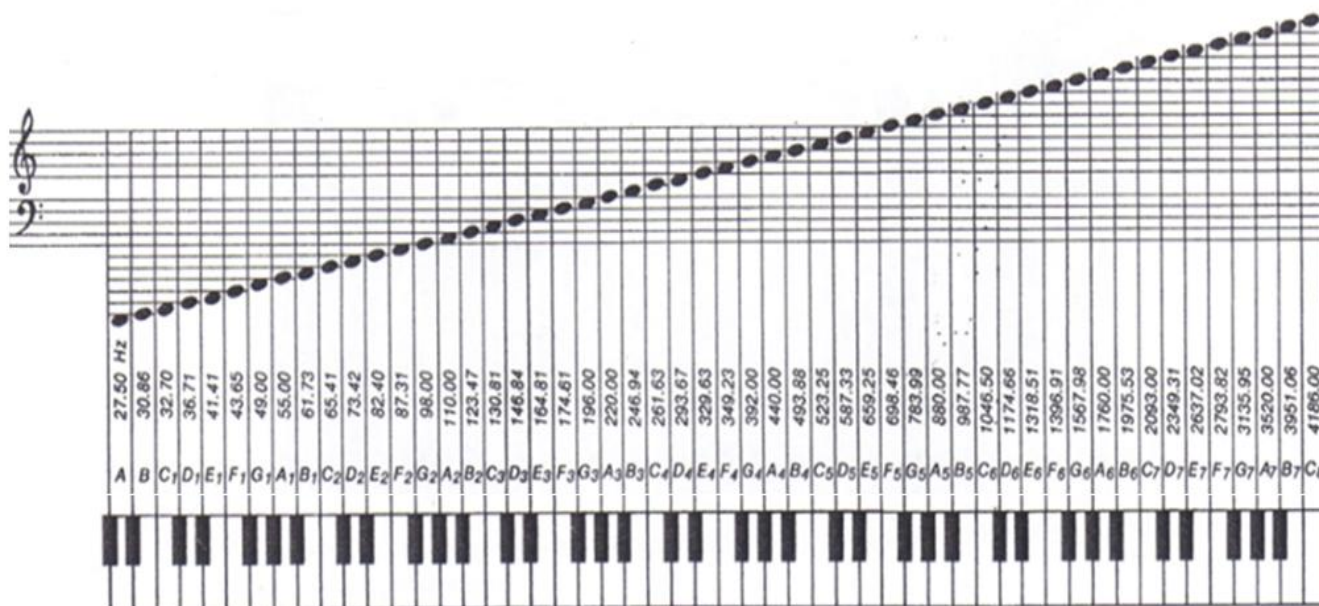


Figura 9: Correspondências entre notas no piano, notas no pentagrama, representação de *pitch* (em letras maiúsculas/números) e frequência fundamental (Adaptado de Hirano, 1981: 89).

Fonte glótica

A fonte glótica constitui o som resultante dos cortes do ar pela vibração das pregas vocais. As frequências dos harmônicos desse som formam a série harmônica que determina o espectro acústico da fonte glótica. Esse espectro mostra onde estão localizadas as frequências dos harmônicos do som e quão intensas elas são, e suas características estão intimamente relacionadas à qualidade do som que percebemos.

As características do espectro acústico da fonte glótica podem ser descritas pela especificação da amplitude dos seus parciais. Teoricamente, os níveis dos componentes harmônicos decrescem em torno de 12 dB a cada oitava, ou seja, cada parcial é aproximadamente 12 dB menos intenso do que o parcial uma oitava abaixo, com a metade de sua frequência. Esse padrão de

declinação (de -12 dB por oitava) pode ser utilizado, por exemplo, como referência para análises das variações nas amplitudes dos harmônicos no espectro da fonte glótica.

As características da fonte glótica podem também ser descritas pela especificação da variação da pressão do som que corresponde à variação da densidade das partículas do fluxo de ar no decorrer do tempo, maior densidade correspondendo à maior pressão sonora e vice-versa. Nos sons que possuem qualidade de *pitch* é possível encontrar um padrão representativo de tal variação, por sua vez representado por uma forma de onda acústica, conforme ilustrado na Figura 10.

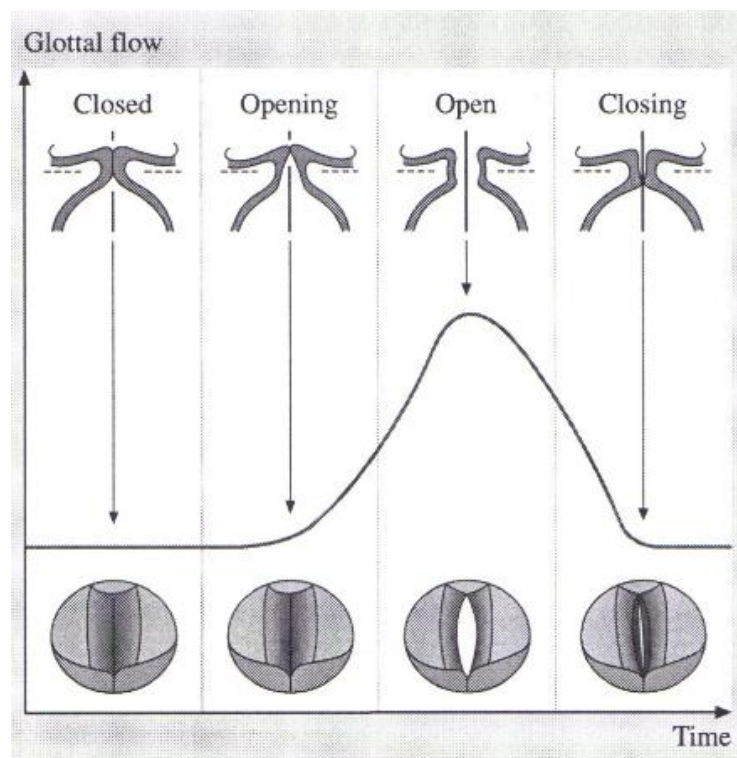


Figura 10: Correspondência entre a forma de onda acústica e as respectivas configurações glóticas em corte coronal e em vista superior das pregas vocais (Lindblom & Sundberg, 2007: 673).

O espectro da fonte glótica e a forma de onda acústica da fonte glótica são, portanto, duas formas possíveis de expressar características de um mesmo fenômeno. Estudos buscaram compreender melhor como se dá a relação entre tais características, ainda não completamente explicitada.

Sundberg (1979) estudou a relação entre o espectro da fonte glótica e a forma de onda da fonte glótica em sujeitos cantores e não cantores. Os resultados mostraram que o valor máximo do fluxo transglotal apareceu diretamente relacionado à amplitude da fundamental do espectro da fonte glótica. Os resultados por eles obtidos sugerem que quanto maior a amplitude do fluxo glótico máximo, mais forte a fundamental da fonte glótica.

Fant (1979) realizou experimento em que ondas senoidais foram combinadas e manipuladas de modo a obter formas de ondas típicas, e por meio desse procedimento estudou as implicações das manipulações nas respectivas formas de onda resultantes. O autor verificou que as amplitudes dos harmônicos do espectro glotal são dependentes de ainda outra característica da forma da onda glótica: a velocidade máxima da mudança de fluxo de ar durante um período. Em termos matemáticos, essa velocidade é representada pelo pico negativo da derivada da forma da onda, e corresponde, no ciclo glótico, à Velocidade de Fechamento das pregas vocais (Figura 11). As conclusões desse experimento sugerem que quanto maior a amplitude do fluxo máximo de ar transglotal, maior a intensidade dos harmônicos mais agudos no espectro.

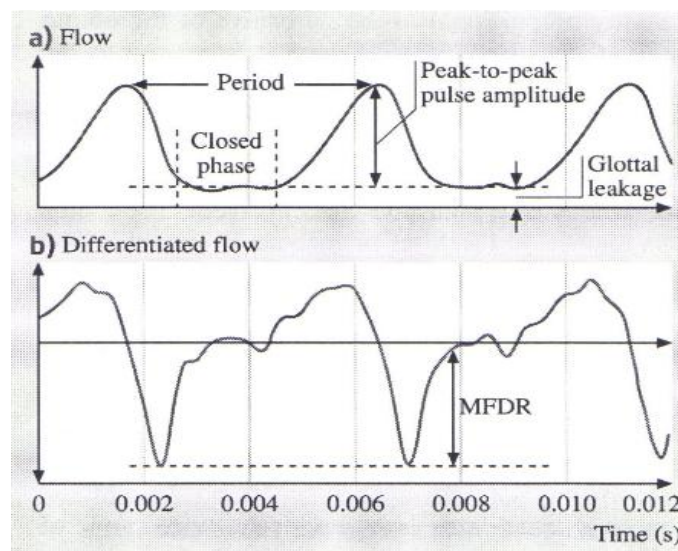


Figura 11: (a) forma da onda glótica e (b) derivada correspondente. MFDR corresponde à velocidade máxima de fechamento das pregas vocais (Lindblom & Sundberg, 2007: 673).

Ou seja, o aumento da amplitude da forma da onda tende a elevar a amplitude da fundamental do espectro; e o aumento da Velocidade de Fechamento das pregas vocais tende a elevar a amplitude dos harmônicos do espectro, sendo esta elevação mais acentuada nos harmônicos mais agudos do que nos harmônicos mais graves. Sendo assim, quanto mais suave e mais sinusoidal a forma de onda, indicando menor Velocidade de Fechamento de pregas vocais, mais suaves os seus parciais agudos. Inversamente, quanto mais abruptas as mudanças na forma de onda, indicando maior Velocidade de Fechamento de pregas vocais, mais intensos os seus parciais.

Do mesmo modo, Sundberg (1979) e Gaufin & Sundberg (1980) referem que a onda sonora revela informações importantes quanto aos modos de vibração das pregas vocais. Sendo assim, menor amplitude da forma da onda e, em paralelo, da frequência fundamental do espectro glótico, está normalmente associada a modos de fonação com pressão subglótica e força

de adução mais elevadas. Inversamente, maior amplitude da forma da onda e, em paralelo, da frequência fundamental do espectro glótico, está normalmente associada a modos de fonação com níveis menores de pressão subglótica e de força de adução.

Com base em seus achados, os autores sugerem que a dimensão fonatória seja entendida como um contínuo que apresenta em uma de suas extremidades a fonação tensa (*pressed phonation*), com elevada pressão subglótica e grande força de adução, e em outra de suas extremidades a fonação soprosa (*breathy phonation*), em que a pressão subglótica reduzida e a força de adução também reduzida resultam em ausência de contato efetivo entre as pregas vocais e em uma fase *quase-fechada*. Nesse contínuo estaria localizada, por exemplo, a fonação fluida (*flow phonation*), com pressão subglótica e força de adução situadas a certo ponto entre esses dois extremos.

Sundberg & Gaufin enfatizam a extensa gradação de modos de fonação nesse contínuo da dimensão fonatória, em que, por exemplo, grande amplitude de forma de onda pode aparecer associada a fases caracterizadamente ainda fechadas; e em que a modificação de uma fonação tensa não necessariamente resulta numa fonação soprosa. Ao contrário, ela poderá resultar em modos de fonação (apenas) menos tensos.

Finalmente, afirmam os autores que os efeitos acústicos associados aos diferentes modos de vibração das pregas vocais podem ser bastante significativos. Por exemplo, a amplitude da frequência fundamental do espectro acústico pode ser elevada em até 15 dB ou mais quando uma fonação

tensa é modificada para uma fonação fluida e sem que de fato ocorram mudanças no nível de pressão sonora da emissão.

Gaufin & Sundberg (1980) realizaram ainda experimentos específicos envolvendo emissões em mesma frequência de fonação, nos registros modal e de falsete. Em um desses experimentos, em que espectros da fonte glótica foram comparados, os resultados mostraram diferenças sistemáticas na amplitude da fundamental no espectro acústico da fonte glótica, em média 5 dB mais forte no registro de falsete. Em outro experimento, em que formas de onda glótica foram comparadas, os autores encontraram formas de onda com fase fechada bem definida no registro modal, e formas consideravelmente suavizadas, com fase assim chamada de “quase fechada” e no registro de falsete. Além disso, a diferença entre os valores da amplitude dos dois harmônicos mais graves do espectro apresentou-se menor no registro modal do que a encontrada no registro de falsete. Seus resultados sugerem que a voz em falsete inclui grande variabilidade com relação às formas de onda originadas na fonte glótica e que, no entanto, a diferença entre a amplitude da fundamental e dos parciais da fonte glótica é o que mais distingue os registros modal e de falsete.

4. MÉTODOS PARA INVESTIGAÇÃO DA FONTE GLÓTICA

4.1. Eletroglotografia (EGG)

A eletroglotografia (EGG) constitui uma técnica não invasiva e de utilização relativamente simples para a investigação da fonte glótica. Por meio dessa técnica, uma corrente alternada de alta frequência (em torno de 1MHz) e de intensidade muito fraca percorre o pescoço e, portanto, toda a laringe, a partir de dois eletrodos posicionados sobre a pele, na região das alas da cartilagem tireóidea (Fabr , 1957).

Uma vez que a eletricidade   melhor conduzida em tecidos do que no ar, a admitância   corrente elétrica aumenta quando as pregas vocais estão aduzidas, e diminui quando as pregas vocais estão abduzidas. As variações desta admitância podem ser representadas por meio de uma forma de onda, o eletroglotograma.

Os registros mais antigos relativos aos usos do EGG para investigar a função glótica (Fabre, 1957, 1959, 1961; Vallencien & Faulhaber, 1967) faziam supor que o sinal do EGG forneceria informações refinadas relacionadas principalmente às variações da área glótica. Estudos posteriores mostraram, contudo, que o sinal eletroglotográfico de fato refletia as variações da área de contato das pregas vocais, e não exatamente a área glótica (Fourcin & Alberton, 1972).

Desde então, estudos comparativos vêm investigando as relações entre os sinais fornecidos pelo EGG e outros métodos de investigação da fonte glótica, como a estroboscopia (Fourcin, 1974; Lecluse *et al*, 1975; Pedersen, 1977; Teaney & Fourcin, 1980), a videoestroboscopia (Anastaplo & Karnell, 1988; Karnell, 1989), medidas de pressão subglótica (Kitzing *et al*, 1982) e filtragem inversa (Childers *et al*, 1983; Fourcin, 1981; Rothenberg, 1981; Rothenberg & Mahshie, 1988). Todos estes estudos confirmam que o sinal do EGG se relaciona à área de contato das pregas vocais, de modo que: quanto maior a área de contato, maior a admitância à corrente elétrica, e vice-versa.

Com base em comparações entre o sinal do EGG e técnicas para visualização da glote, Lecluse & Brocaar (1977) e Childers & Krishnamurthy (1985) propuseram uma descrição esquemática do sinal do EGG durante um período glotal. Segundo tal descrição, o ciclo vibratório do modo como representado no sinal de EGG poderia ser dividido em quatro fases principais:

1. Fase de fechamento: iniciada pelo contato das margens inferiores das pregas vocais, que então se propaga para as margens superiores. Uma vez que o fechamento das pregas é geralmente mais rápido, essa fase é caracteristicamente representada por uma inclinação súbita no sinal do EGG;
2. Fase fechada: corresponde à fase em as pregas vocais encontram-se em pleno contato, impedindo a passagem do ar por meio da glote;
3. Fase de abertura: se inicia no momento em que as margens inferiores das pregas vocais começam gradualmente a se separar. Após a

separação das margens inferiores, se inicia a separação também das margens superiores;

4. Fase aberta: nessa fase as pregas vocais encontram-se separadas, correspondendo a um traçado relativamente plano no sinal do EGG mostrando pequena variação na admitância glótica.

Alguns estudos mostraram, posteriormente, que a forma representada no sinal do EGG é dependente do registro vocal utilizado na emissão analisada, se “de peito” ou se “de falsete” (Lecluse & Brocaar, 1977; Kitzing, 1982). Sendo assim, o sinal do EGG é mais assimétrico em emissões produzidas no registro modal do que em emissões produzidas no registro de falsete, indicando fase fechada mais rápida e fase de abertura mais gradual no primeiro. Estas diferenças refletem, na verdade, diferenças no fluxo aéreo transglotal decorrentes do contato vertical das pregas vocais no registro modal (Childers & Lee, 1991).

Henrich *et al* (2003) menciona, contudo, que a observação do período glótico conforme representado no sinal do EGG pode não ser suficiente para caracterizar a produção da voz nos diferentes registros vocais. De fato, estudo detalhado dos sinais de EGG nos diferentes registros vocais realizado por Roubeau (1993) mostrou grande variação das formas desses sinais tanto entre os sujeitos como para um mesmo sujeito.

Segundo Henrich *et al* (2003, 2004, 2005) a utilização da derivada do sinal do EGG aparentemente mostra-se bastante mais eficaz na análise da fonte glótica e na detecção de diferenças importantes entre as características do ciclo vibratório nos diferentes registros da voz.

As relações entre as diferentes fases do ciclo glótico e os sinais do EGG e da derivada sinal do EGG podem ser verificadas pelo registro simultâneo da eletroglotografia e de imagens *high-speed*, conforme ilustrado na Figura 12, que se refere à uma emissão na frequência de 110Hz, produzida por um homem sem alterações vocais.

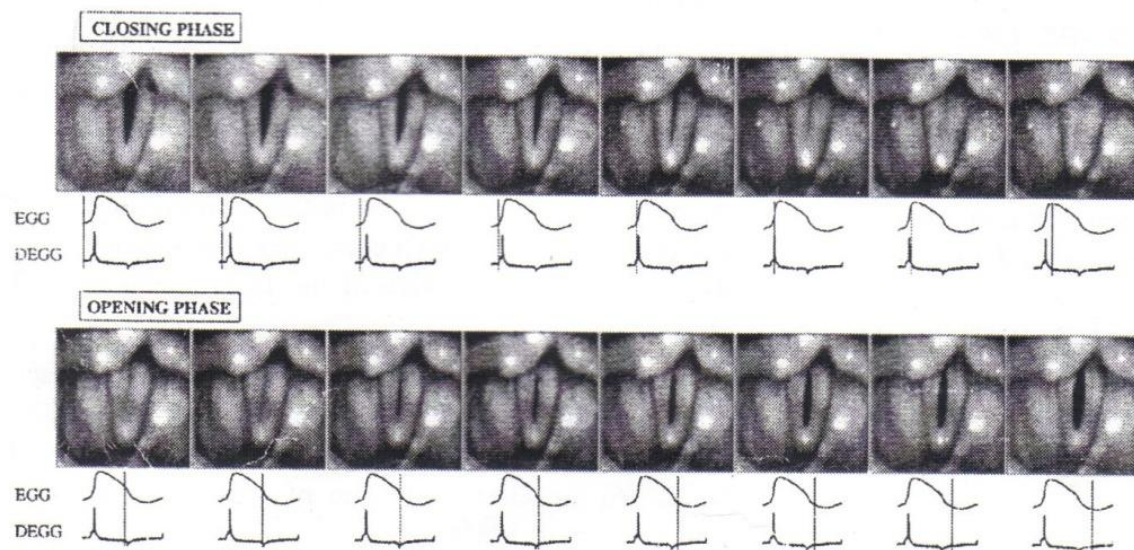


Figura 12: Fases de abertura e de fechamento das pregas vocais: imagens de *high speed* correspondendo ao traçado eletroglotográfico (Henrich, 2004: 1322).

De acordo com Childers *et al* (1986), os picos representados no sinal do dEGG estão relacionados, nos casos de fonação não patológica, aos instantes de abertura e de fechamento da glote, definidos como os instantes de início e de término da variação do contato entre as pregas vocais.

Também segundo Henrich *et al* (2004), os picos indicados na derivada do sinal do EGG podem ser considerados indicadores confiáveis dos instantes de abertura e de fechamento da glote. De acordo com os autores, quando se trata do fluxo de ar transglotal, estes instantes podem ser definidos como o momento em que se inicia o aumento significativo do fluxo de ar em relação à

linha de base (início da abertura), e o momento em que se inicia a diminuição significativa do fluxo de ar em relação a essa linha (início do fechamento). Os autores mencionam ainda que o pico de fechamento no sinal da derivada do sinal do EGG é normalmente bastante forte e preciso, refletindo o fechamento glotal tipicamente abrupto. O pico de abertura, por outro lado, é usualmente mais fraco e nem sempre tão preciso, refletindo a abertura glotal, não tão precisa como o fechamento. Henrich e colaboradores finalmente concluem que pequenas modificações nas características do ciclo glótico que poderiam passar despercebidas no sinal do EGG, apresentam-se consideravelmente mais evidentes na representação fornecida pela derivada do sinal do EGG, reforçando a eficácia desse método para análises da fonte glótica nos registros modal e de falsete.

4.2. Filtragem Inversa

A filtragem inversa do sinal acústico irradiado pela boca constitui também uma técnica não invasiva pela qual é possível para obter informações sobre a fonte glótica. A técnica da filtragem inversa está baseada no conceito de fonte-filtro. Este conceito parte do pressuposto de que é possível separar os efeitos da fonte glótica, ou seja, do som originalmente gerado na laringe, dos efeitos do filtro, decorrentes das ressonâncias do trato vocal (Miller, 1957; Fant, 1960; Fant & Sonesson, 1962; Lindqvist (Gauffin), 1965).

Um filtro inverso consiste em uma série de filtros que correspondem (idealmente) a cada um dos formantes do trato vocal, e cuja função de

transferência constitui a negação da função de transferência dos respectivos formantes (Sundberg, 1987). Sendo assim, se os formantes podem ser descritos como ressonâncias do trato vocal, os filtros podem ser descritos como suas respectivas antirressonâncias (Sundberg, 1987). Em outras palavras, na filtragem inversa cada filtro deverá compensar as ressonâncias do trato vocal de modo que a influência de seus respectivos formantes seja eliminada do espectro sonoro irradiado pela boca. A filtragem inversa produz, portanto, uma estimativa da forma da onda acústica do modo como ela se apresenta na fonte glótica, anteriormente às influências decorrentes das ressonâncias do trato vocal. A filtragem inversa constitui, por assim dizer, um método indireto e em sua natureza não invasivo para coleta de informações e extração de medidas específicas relativas a parâmetros acústicos glotais (Holmberg *et al.*; 1988; Sundberg *et al.* 1999).

Diversas metodologias vêm sendo desenvolvidas visando analisar e quantificar o fluxo aéreo glotal estimado pelo procedimento de filtragem inversa. O objetivo de tais técnicas constitui, em última instância, uma parametrização da fonte glótica de modo a possibilitar a expressão de suas características mais importantes por meio de alguns poucos valores numéricos.

Alguns destes métodos buscam, por exemplo, a descrição do fluxo aéreo glotal por meio da quantificação de aspectos relativos ao domínio da frequência. Sendo assim, medidas que expressem a distribuição de energia nos diferentes harmônicos do espectro acústico podem ser utilizadas para descrever a estrutura harmônica manifesta na fonte glótica. Uma das medidas mais largamente utilizadas em análises desta natureza tem sido a que se refere ao valor da diferença entre as intensidades dos dois primeiros harmônicos do

espectro (H1–H2) (Hammarberg *et al*, 1980; Klatt & Klatt, 1990; Hanson & Stevens, 1995; Hanson, 1997). Por exemplo, o trabalho desenvolvido por Sundberg & Högset (2001) compara características da fonte glótica nos registros modal e de falsete em cantores do sexo masculino, e mostra em seus resultados valores de H1-H2 sistematicamente maiores no registro de falsete do que no registro de modal.

Outros métodos quantificam o fluxo aéreo glotal estimado pela filtragem inversa, pela utilização de parâmetros correlacionados ao tempo. Dentre eles, destaca-se o modelo de Fant e colaboradores, em que é proposta uma descrição das formas de onda glotais por meio de quatro parâmetros correlacionados ao tempo, os quais são então comparados a características do espectro acústico da fonte glótica (Fant *et al*, 1985). Métodos dessa natureza foram posteriormente desenvolvidos por Alku e Bäckström (Alku *et al* Bäckström, 2002; Bäckström *et al*, 2002).

Em tais abordagens, a quantificação do fluxo aéreo glotal é normalmente realizada pelo uso de certos quocientes obtidos a partir de medidas relativas ao tempo, extraídas na forma de onda da fonte glótica. As durações das fases de fechamento, fechada, de abertura e aberta constituem exemplos de parâmetros considerados para análise nestes tipos de abordagem. Tais medidas podem também ser extraídas a partir da análise da derivada da forma da onda glótica, como é o caso da medida da diferença de tempo entre o início da fase de fechamento e o instante em que ocorre a velocidade máxima de declínio do fluxo de ar, identificada na derivada como um pico negativo acentuado (Sundberg *et al*, 1993), a ser descrita a seguir.

Dos parâmetros acústicos correlacionados ao tempo, a duração do período, a frequência fundamental, a duração da fase de abertura e da fase de fechamento, os coeficientes fechado e de aberto, assim como o coeficiente de velocidade têm sido os mais freqüentemente utilizados. Em particular, estudos têm mostrado correlação significativa entre valores do coeficiente fechado e medidas de diferença entre os valores de H1–H2, onde valores maiores de Quociente Fechado correlacionam-se com valores menores de H1-H2, e vice-versa (Holmberg *et al*, 1995; Sundberg *et al*, 1999).

Finalmente, as formas de onda estimadas pela filtragem inversa podem ser também descritas por meio de valores que representem características da amplitude do fluxo glotal.

A amplitude da corrente alternada do fluxo aéreo glotal, por exemplo, constitui uma medida freqüentemente utilizada em métodos desta natureza. Fisiologicamente, a amplitude da corrente alternada tem sido correlacionada à amplitude das vibrações das pregas vocais (Holmberg *et al*, 1988), e ao nível de pressão sonora (NPS), onde o aumento de valores da amplitude da corrente alternada estaria positivamente correlacionado ao aumento do NPS e da *loudness* (Gauffin & Sundberg, 1980; Stathopoulos & Sapienza, 1993; Sundberg *et al*, 1993).

Outra medida também utilizada, relacionada a características da amplitude do fluxo glotal, se refere à medida do pico negativo da derivada da forma de onda da fonte glótica, também referida como Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar (Holmberg *et al*, 1988). Segundo Sulter & Schutte (1991), tal medida estabelece uma relação exponencial com o NPS e tem sido

considerada indicadora das forças de colisão entre pregas vocais (Hillman *et al*, 1990). A Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar representa a velocidade máxima de fechamento das pregas vocais (Sulter, 1996) e, segundo Gauffin & Sundberg (1989), corresponde ao momento em que é produzida a principal excitação do trato vocal.

Finalmente, o quociente da amplitude, definido como a razão entre a amplitude da corrente alternada e a amplitude do pico negativo da derivada do fluxo – ou, ainda, o Quociente da Amplitude Normalizada, quando esta razão é normalizada com relação à duração do período fundamental – vem sendo também utilizado para parametrização de características da amplitude da forma de onda estimada pela filtragem inversa. Tem sido sugerido que este quociente correlaciona-se ao grau de adução glótica e é eficaz para quantificar e diferenciar tipos distintos de fonação (Alku & Vilkman, 1996; Bäckström *et al*, 2002; Alku *et al*, 2006).

4.3. O uso combinado da eletroglotografia e da filtragem inversa

Eletroglotografia e filtragem inversa fornecem, por assim dizer, informações supostamente complementares relativas à atividade glótica. De fato, a utilização combinada de ambos os métodos para o estudo das características de vibração das pregas foi considerada bastante produtiva por Henrich *et al* (2004), os quais encontraram boa correspondência entre medidas obtidas a partir da análise do sinal do EGG e da análise do sinal da forma de

onda do fluxo aéreo glotal. Segundo os autores, tal correspondência apresentou-se ainda melhor quando a derivada do sinal do EGG foi utilizada para tal análise.

A possibilidade de estabelecer boa correspondência entre ambos os métodos para análise da atividade glótica torna-se especialmente interessante em situações em que a determinação acurada de parâmetros correlacionados ao tempo venha a ser problemática, como, por exemplo, quando se trata da identificação precisa dos momentos exatos de abertura e mesmo de fechamento das pregas vocais na forma de onda do fluxo aéreo glotal (Holmberg *et al*, 1988; Dromey *et al*, 1992).

Em situações dessa natureza, a utilização da derivada do sinal do EGG apresenta-se particularmente eficiente, uma vez que pequenas modificações relativas ao contato entre pregas vocais possivelmente de difícil detecção no sinal do EGG, podem ser muito mais claramente verificadas na derivada deste sinal (Henrich *et al*, 2004). A observação da derivada do sinal do EGG mostra, por exemplo, picos claros de fechamento e de abertura correspondentes a variações importantes da admitância elétrica na glote (Figura 13), tanto no registro modal como no de falsete (Henrich *et al*, 2004).

O uso combinado da eletroglotografia, de sua derivada e da filtragem inversa na investigação da fonte glótica, ambos procedimentos em sua natureza não invasivos, apresenta-se bastante promissor na investigação nos registros da voz.

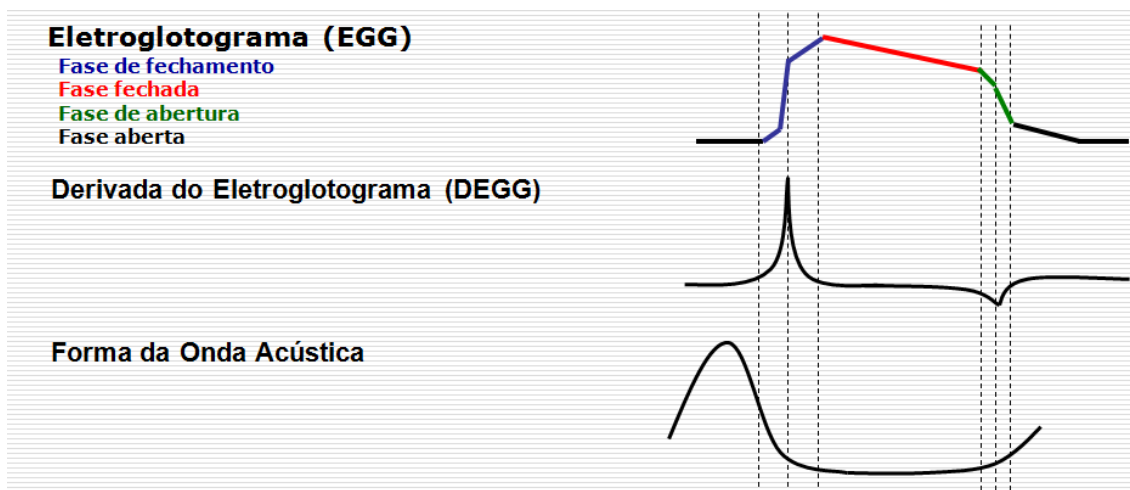


Figura 13: Representação esquemática da correspondência entre o sinal do EGG, a derivada do sinal do EGG e a forma de onda acústica. Modificações pouco nítidas na forma da onda do EGG ou na forma da onda acústica aparecem como picos evidentes na derivada do sinal do EGG, mostrando pico positivo forte no início da fase fechada, e pico negativo mais suave no início da fase aberta.

5. PRIMEIRO ESTUDO: DIFERENÇAS NA FONTE GLÓTICA NOS REGISTROS MODAL E DE FALSETE EM CANTORES DE CORAL

Conforme referido, grande parte das investigações na área da acústica da voz e dos registros vocais tem se voltado principalmente para a análise das características do espectro sonoro irradiado pela boca, situação em que as propriedades acústicas da fonte glótica encontram-se já transformadas pelas ressonâncias do trato vocal.

O estudo descrito a seguir se propõe a investigar aspectos acústicos dos diferentes registros vocais manifestos já na fonte glótica, justamente por partir do pressuposto de que diferentes registros vocais estão associados a diferenças nas características de vibração das pregas vocais.

As questões que então se colocam são: existem diferenças sistemáticas na fonte glótica dos registros modal e de falsete? Quais são elas e como elas se relacionam?

5.1. Material e método

5.1.1. Sujeitos

Treze cantores do Coral do Estado de São Paulo, do sexo masculino, participaram deste estudo: dois baixos, cinco barítonos e seis tenores. Suas

idades variaram de vinte e um a trinta anos e a duração de seus respectivos treinamentos vocais prévios variou de quatro meses até quatorze anos, como mostra o Quadro 3. Nenhum dos sujeitos apresentou quaisquer problemas vocais no dia da gravação. Todos os sujeitos foram informados sobre os procedimentos para coleta de dados e sobre os objetivos do estudo, e deram seu consentimento livre e expresso para participar da pesquisa.

Antes do procedimento de gravação os cantores responderam um breve questionário contendo questões relativas à habilidade em perceber e produzir voluntariamente emissões em ambos os registros, conforme também indicado no Quadro 3.

Quadro 3: Questionário respondido por cada um dos cantores anteriormente ao início do procedimento de gravação.

Cantor	Idade	Classificação vocal	Tempo de treinamento vocal		Habilidade para perceber e produzir voluntariamente notas em ambos os registros, de acordo com o cantor					
			em aulas individuais	em canto coral	Você consegue perceber claramente diferenças na qualidade da sua voz quando você canta no registro de modal e no de falsete?		Você consegue controlar a produção da sua voz de modo a produzi-la voluntariamente nos registros de modal e de falsete?		Você acha que é possível para você cantar algumas notas tanto no registro de modal como no de falsete?	
					sim	não	sim	não sei	sim	não sei
T1	29	Tenor	9 anos	14 anos	X		X		X	
T2	24	Tenor	2 anos	10 anos	X		X		X	
T3	22	Tenor	1½ ano	9 anos	X		X		X	
T4	26	Tenor	4 anos	13 anos		X		X		X
T5	30	Tenor	2 anos	4 anos	X		X		X	
T6	30	Tenor	3 anos	6 anos	X		X		X	
Br1	21	Barítono	2½ anos	8 anos	X		X		X	
Br2	26	Barítono	6 anos	5 anos	X		X		X	
Br3	26	Barítono	2 anos	4 anos	X		X		X	
Br4	21	Barítono	1 ano	2 anos		X		X		X
Br5	27	Barítono	3 anos	3 anos	X		X		X	
Bx1	23	Baixo	4 meses	8 meses		X		X		X
Bx2	25	Baixo	3½ anos	8 anos	X		X		X	

5.1.2. Procedimentos para Gravação

As sessões de gravação foram realizadas no Laboratório de Rádio da Faculdade de Comunicação e Filosofia (COMFIL) da PUC/SP, em ambiente acusticamente tratado. Os sinais acústicos e eletroglotográficos foram gravados simultaneamente em canais distintos. O sinal acústico foi captado por um microfone *Audiotecnica* ATM 75, modelo de acoplagem em cabeça, unidirecional, resposta de frequência de 60 Hz a 15 Hz e curva de ganho linear, posicionado a 17 cm da boca do cantor. O sinal eletroglotográfico foi captado por meio de eletrodos de superfície do eletroglotógrafo EG2 da *Glottal Enterprises*, os quais foram acoplados às alas da cartilagem tireóidea e presos com uma fita de velcro. A região do pescoço foi higienizada com papel seco tipo toalha, após o qual foi aplicada uma camada fina de gel condutivo hipoalergênico para eletrodos (*Spectra 360 Parker Laboratories*). O microfone e o eletroglotógrafo foram conectados à placa e mesa de som *Soundcraft* 328 XD. Os sinais acústico e eletroglotográfico foram registrados pelo *software SoundForge* (versão 7.0) em frequência de amostragem de 22.050 Hz, 16 bits, padrão estéreo e extensão *wav* (.wav).

5.1.3. Protocolo

Antes do início da gravação, cada cantor foi submetido a um período de aquecimento vocal de aproximadamente dez minutos. Em seguida, cada cantor foi instruído a produzir notas musicais em intensidade de voz elevada, em diferentes regiões de *pitch*, e o ganho da mesa de som foi então ajustado para que sons cantados em maior intensidade não viessem a ser distorcidos no

momento da gravação. O ganho da mesa respectivamente definido para cada sujeito foi mantido no decorrer de toda a gravação.

Após tal ajuste, o cantor foi instruído a cantar duas escalas cromáticas² – uma ascendente e outra descendente – em região de *pitch* e em intensidade de voz confortáveis, utilizando a vogal /a/. A escala ascendente deveria ser cantada no registro modal, iniciando-se na nota mais grave da faixa de fonação do cantor e estendendo-se até a nota mais aguda possível, e a escala descendente deveria ser cantada no registro de falsete, iniciando-se na nota mais aguda da faixa de fonação do cantor e estendendo-se até a nota mais grave possível. Cada uma das notas das escalas foi apresentada individualmente, mediante a utilização de um teclado, e o cantor foi instruído a iniciar a sua emissão imediatamente após a interrupção do som tocado.

5.2. Análise

O material gravado foi armazenado em arquivos de som, extensão wave (.wav). Foram assim criados treze arquivos de som correspondentes a cada um dos treze cantores, contendo, cada um deles, uma emissão de escala ascendente no registro de modal e uma emissão de escala descendente no registro de falsete.

Em cada arquivo, e para cada uma das escalas, foram selecionadas quatro notas consecutivas localizadas na região em que ambos os registros se sobrepuseram. Sendo assim, para cada uma das notas selecionadas corresponderam duas emissões: uma produzida no registro modal (extraída da escala ascendente modal) e uma produzida no registro de falsete (extraída da

² Na linguagem musical, escala cromática é a escala que contém doze notas musicais com intervalos de semitons entre elas.

escala descendente falsete). As notas localizadas nas extremidades das escalas foram evitadas, visando evitar emissões eventualmente produzidas em região de *pitch* já não mais confortável ao cantor. As escalas emitidas por cada um dos cantores nos diferentes registros vocais, bem como as notas selecionadas para análise, encontram-se ilustradas na Figura 14.

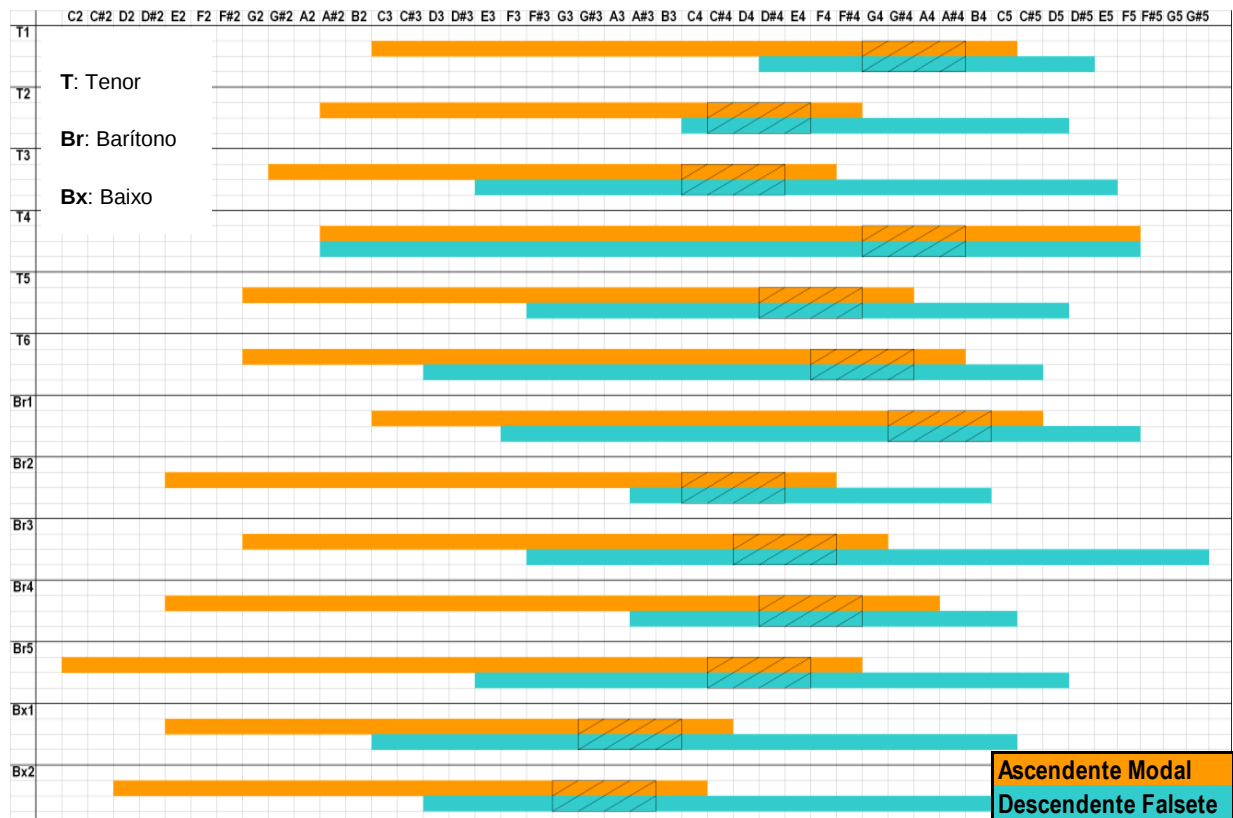


Figura 14: Escalas cromáticas ascendentes e descendentes produzidas nos registros modal e de falsete por cada um dos cantores. As emissões selecionadas para análise aparecem marcadas com linhas inclinadas pretas (quatro emissões produzidas no registro modal e quatro produzidas no registro de falsete). As letras e números na linha superior simbolizam as notas musicais. As letras e números na coluna à esquerda representam cada um dos treze cantores.

Cada uma das emissões selecionadas foi submetida ao procedimento de filtragem inversa, por meio da utilização do programa *Decap*, concebido pelo engenheiro acústico Svante Granqvist do Departamento de Fala, Música e Audição do Instituto Real de Tecnologia (*Speech, Music and Hearing Department, Royal Institute of Technology*). Esse programa permite o ajuste manual dos filtros inversos em termos de frequência de formantes e de largura de bandas, apresentando em seu *display* a forma de onda acústica e o espectro acústico do sinal antes de ser filtrado, assim como a forma de onda acústica e o espectro acústico após a filtragem inversa. O programa permite também a introdução de um canal extra por meio do qual algum outro sinal, que não necessariamente de natureza acústica, possa ser apresentado no mesmo *display*. Nesse estudo, este canal extra foi utilizado para veicular o sinal eletroglotográfico. O programa fornece ainda a derivada da forma da onda acústica introduzida para análise.

Para atender aos objetivos da pesquisa, o programa foi configurado de modo a que fossem apresentados em seu *display*:

1. O espectro acústico antes e depois da filtragem inversa;
2. A forma de onda acústica estimada pela filtragem inversa e sua primeira derivada;
3. A primeira derivada da forma da onda eletroglotográfica.

A Figura 15 mostra o *display* oferecido pelo programa após tal configuração.

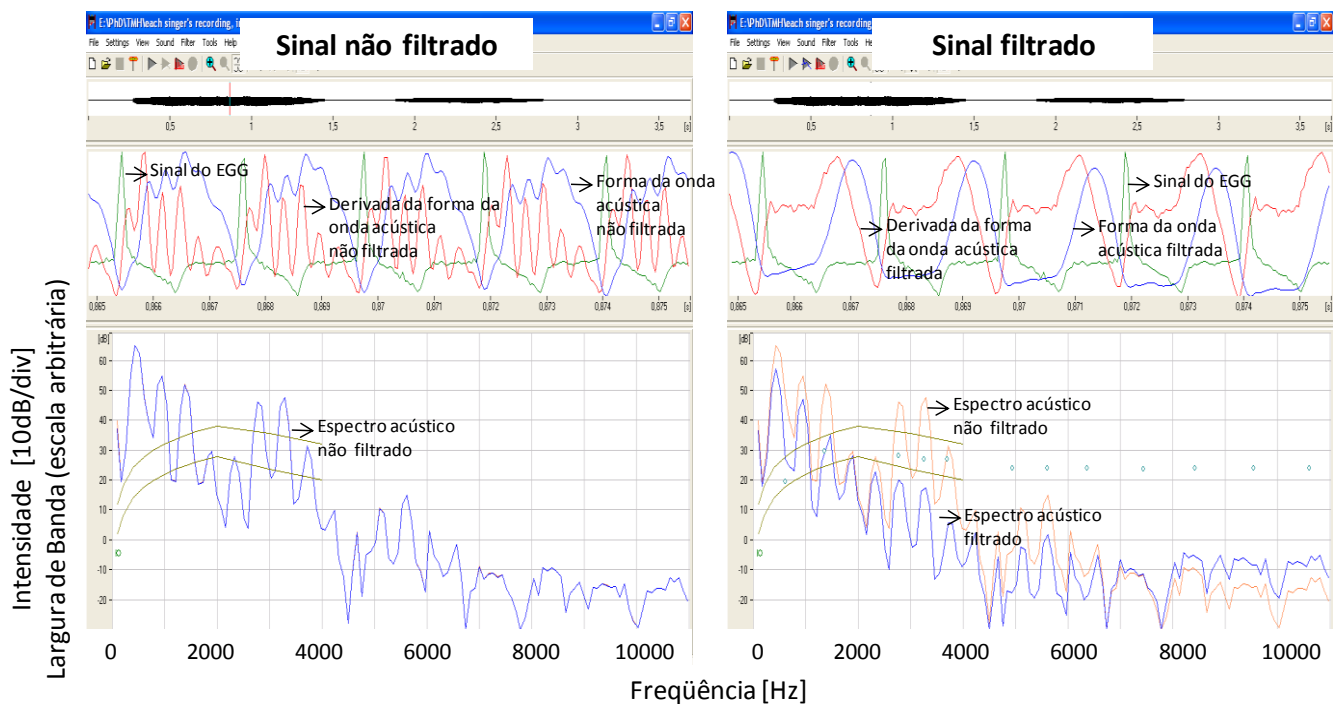


Figura 15: *Display* oferecido pelo programa *Decap*, mostrando o espectro acústico antes e depois da filtragem inversa, a forma da onda acústica e sua primeira derivada antes e depois da filtragem inversa, e a primeira derivada do sinal do EGG, conforme indicados.

Para obter correta sincronia entre os sinais acústico e eletroglotográfico foi necessário eliminar o intervalo de tempo resultante da diferença entre os momentos de captação de ambos os sinais no momento da gravação. Tal intervalo correspondeu ao tempo despendido pelo sinal acústico para percorrer a distância que vai da fonte glótica até a boca – estimada entre 17 cm e 20 cm para adultos homens – somado ao tempo despendido para percorrer a distância que vai da boca ao microfone – estabelecida nesse estudo como 17cm. Considerando-se que o som se propaga no ar numa velocidade de 340m/s, então o tempo necessário para que o som vocal gerado na fonte glótica alcançasse o microfone consistiu algo em torno de 1 ms. Em outras

palavras, o sinal acústico foi captado pelo microfone aproximadamente 1 ms após o sinal eletroglotográfico ser captado pelos eletrodos acoplados às alas da cartilagem tireóidea. Com este ajuste, foi possível estabelecer correspondência adequada entre os eventos glóticos respectivamente representados pelas formas de onda acústica e eletroglotográfica, conforme ilustrado na Figura 16.

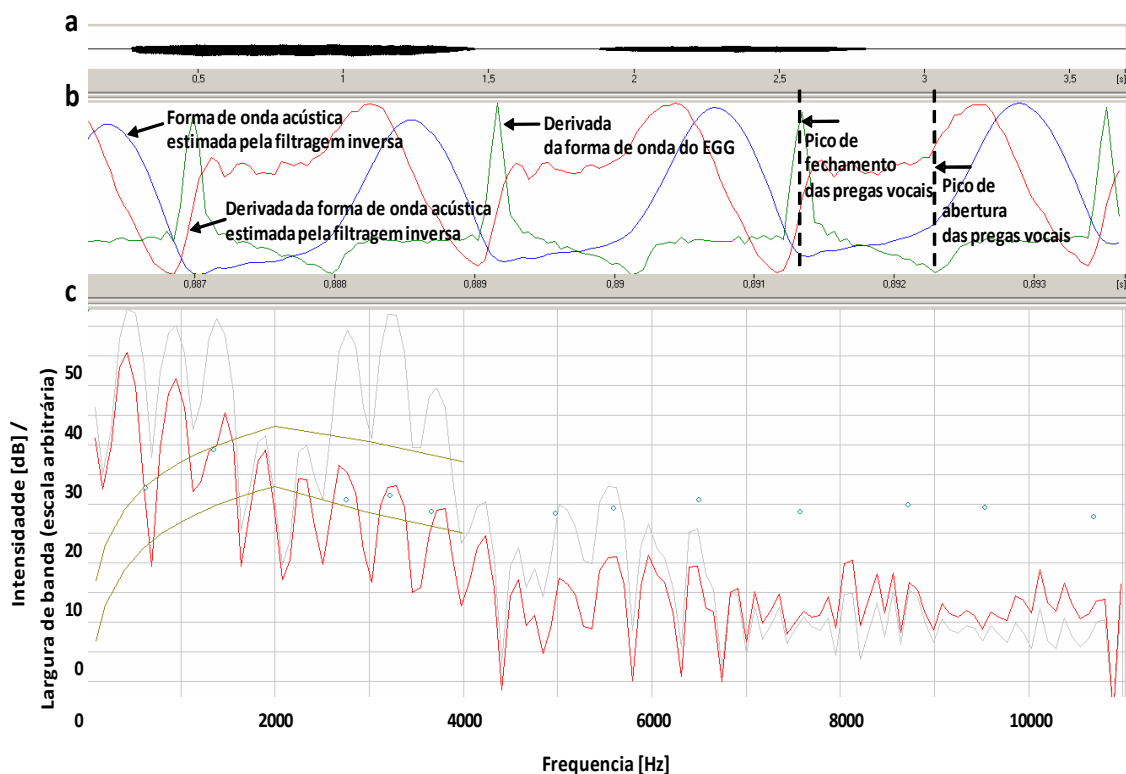


Figura 15: Correspondência entre as discontinuidades dos sinais eletroglotográfico, da forma da onda acústica da fonte glótica e de sua primeira derivada.

Após tal ajuste, uma amostra extraída da região central das emissões selecionadas cada um dos sujeitos foi submetida ao procedimento de filtragem inversa.

No programa *Decap*, o procedimento da filtragem inversa é realizado por meio do controle manual da posição de cada um dos filtros, que podem ser assim manipulados tanto em termos de frequência como de largura de banda.

O posicionamento inicial de cada um dos filtros foi feito tendo como base tanto o conhecimento prévio da localização típica dos formantes que caracterizariam a vogal analisada, no caso a vogal /a/, como na observação, no espectro acústico do som a ser filtrado, da região em que os picos de energia, ou formantes, de fato ocorreram. Em paralelo, o correto posicionamento dos filtros deveria resultar no efetivo cancelamento dos respectivos formantes e, como consequência, no delineamento de uma fase fechada na forma de onda acústica resultante.

Sendo assim, os principais critérios que nortearam a determinação do correto posicionamento dos filtros constituíram: a obtenção na forma de onda filtrada de uma fase fechada tanto quanto possível livre de ondulações, ou seja, livre das interferências das respectivas ressonâncias do trato vocal; a obtenção de um espectro acústico na qual a amplitude dos sucessivos harmônicos decrescesse algo em torno de 12 dB a cada oitava, de modo a corresponder, idealmente, ao espectro do sinal acústico originalmente produzido na fonte glótica (Kent & Read, 1992).

Além disso, a sincronização entre as discontinuidades do traçado da derivada do sinal do EGG e da forma da onda acústica gerada pela filtragem inversa, relacionadas às fases de fechamento e fechada, e às fases de abertura e aberta do ciclo glótico, constituiu guia adicional, de suma importância, para o correto posicionamento dos filtros.

Em particular no registro de falsete, a sincronização entre a forma da onda acústica e forma da onda do EGG mostrou-se de grande valia. Nesse registro, a forma de onda acústica tendeu a assemelhar-se a uma forma de aparência mais sinusoidal, com fase fechada de difícil delimitação. No entanto, a fácil visualização das discontinuidades no traçado da derivada do sinal do EGG, indicativos de instantes correspondentes ao fechamento e à abertura das pregas vocais, reforçaram a importância da sincronização entre onda acústica e onda eletroglotográfica como estratégia para obter informações relativas a eventos importantes do ciclo glótico e, em consequência, como critério muitas vezes decisivo para o correto posicionamento dos filtros.

Os valores de frequência de formantes e de largura de banda dos filtros inversos foram então checados em sua consistência por meio de procedimentos de síntese de voz. O programa *Madde*, também idealizado pelo engenheiro acústico Svante Granqvist, foi utilizado para esse procedimento. Dentre outros recursos, esse programa oferece a possibilidade de gerar e manipular valores de frequência fundamental e de mais seis formantes. Sendo assim, cada uma das emissões submetidas à filtragem inversa foi sintetizada a partir dos valores de frequência fundamental e de frequência de formantes obtidos no procedimento de filtragem inversa, e a qualidade vocálica resultante foi então comparada à qualidade da respectiva emissão produzida pelo cantor. A posição dos filtros foi aceita apenas se os valores utilizados para síntese resultassem em qualidade de voz semelhante à emitida pelo cantor.

Finalmente, os valores obtidos para as quatro emissões consecutivas do mesmo cantor foram comparados entre si. A posição dos filtros foi revista nos casos de variação assistemática entre valores obtidos para tons adjacentes e,

quando necessário, tais casos foram submetidos a novo procedimento de filtragem inversa.

A Tabela 1 mostra a média dos valores de frequência obtidos para os dois formantes mais graves do espectro acústico, bem dos valores da largura de banda dos filtros utilizados na filtragem inversa, tanto para as emissões no registro de modal como no de falsete.

Tabela 1: Média dos valores de frequência obtidos para os dois formantes mais graves do espectro acústico da fonte glótica, e valores da largura de banda dos filtros utilizados na filtragem inversa das emissões produzidas no registro de modal no registro de falsete.

		Formante 1		Larg Banda		Formante 2		Larg Banda	
		Média	Desv Pad	Média	Desv Pad	Média	Desv Pad	Média	Desv Pad
Tenor 1	Modal	667	39,2	78	7,7	1278	57,7	76	4,7
	Falsete	738	5,7	60	3,4	1295	127,1	48	6,9
Tenor 2	Modal	628	39,7	131	17,7	1122	60,1	32	3,5
	Falsete	823	17,9	60	4,1	1224	50,7	33	5,2
Tenor 3	Modal	630	5,7	58	17,0	1134	14,2	52	11,2
	Falsete	537	33,9	54	3,9	1241	39,4	48	2,7
Tenor 4	Modal	633	22,6	44	8,7	1275	64,9	40	5,6
	Falsete	721	21,4	74	5,3	1266	45,2	50	2,2
Tenor 5	Modal	650	19,6	68	4,4	1037	23,3	55	16,6
	Falsete	628	19,6	49	2,2	1165	139,1	55	16,6
Tenor 6	Modal	814	30,6	49	0,4	1408	46,6	51	0,6
	Falsete	718	19,6	27	3,6	1266	26,1	42	3,6
Barítono 1	Modal	676	23,3	86	5,2	1329	78,6	36	3,5
	Falsete	839	49,4	65	5,4	1211	25,7	37	2,3
Barítono 2	Modal	585	18,9	50	6,7	978	19,3	72	8,9
	Falsete	836	42,9	65	6,4	1231	65,7	45	18,3
Barítono 3	Modal	591	23,3	60	10,0	1083	17,0	65	5,2
	Falsete	743	38,2	77	6,3	977	578,2	76	11,4
Barítono 4	Modal	608	25,1	51	3,3	1021	45,6	41	3,6
	Falsete	653	38,5	62	17,4	1012	32,6	45	5,7
Barítono 5	Modal	619	40,6	55	6,5	927	44,3	77	4,9
	Falsete	492	42,8	44	1,6	842	29,9	45	5,2
Baixo 1	Modal	466	17,0	94	7,7	1128	17,0	51	2,4
	Falsete	382	17,0	63	4,5	1165	23,3	37	7,4
Baixo 2	Modal	564	9,9	34	3,5	980	5,4	39	4,3
	Falsete	529	17,0	46	7,4	981	23,3	55	2,5

Os sinais acústicos e eletroglotográficos sincronizados foram então analisados utilizando-se os vários módulos do programa *Soundswell Signal Workstation* (Hitech Development, Estocolmo, Suécia). Na forma da onda

acústica, em sua primeira derivada e na primeira derivada da forma da onda do EGG as seguintes medidas foram extraídas:

1. Duração do período e valor da frequência fundamental;
2. Duração da fase fechada;
3. Amplitude de pico-a-pico do sinal acústico, ou amplitude da corrente alternada (amplitude CA);
4. Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar representada pelo pico negativo da derivada da onda acústica.

Foram ainda calculados:

1. O Quociente Fechado, definido como a razão entre a duração da fase fechada e a duração do período;
2. O Quociente da Amplitude Normalizada, definido como a razão entre a Amplitude CA e a Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar multiplicada pelo valor da frequência fundamental (Fant & Lin, 1988; Fant *et al*, 1994; Fant,1997; Alku & Vilkman, 1996);
3. A diferença entre os níveis de intensidade dos dois harmônicos mais graves do espectro acústico da forma de onda da fonte glótica, ou H1 – H2.

As medidas extraídas na forma de onda acústica, na sua primeira derivada e na forma de onda eletroglotográfica, assim como no espectro acústico da fonte glótica aparecem ilustradas na Figura 17.

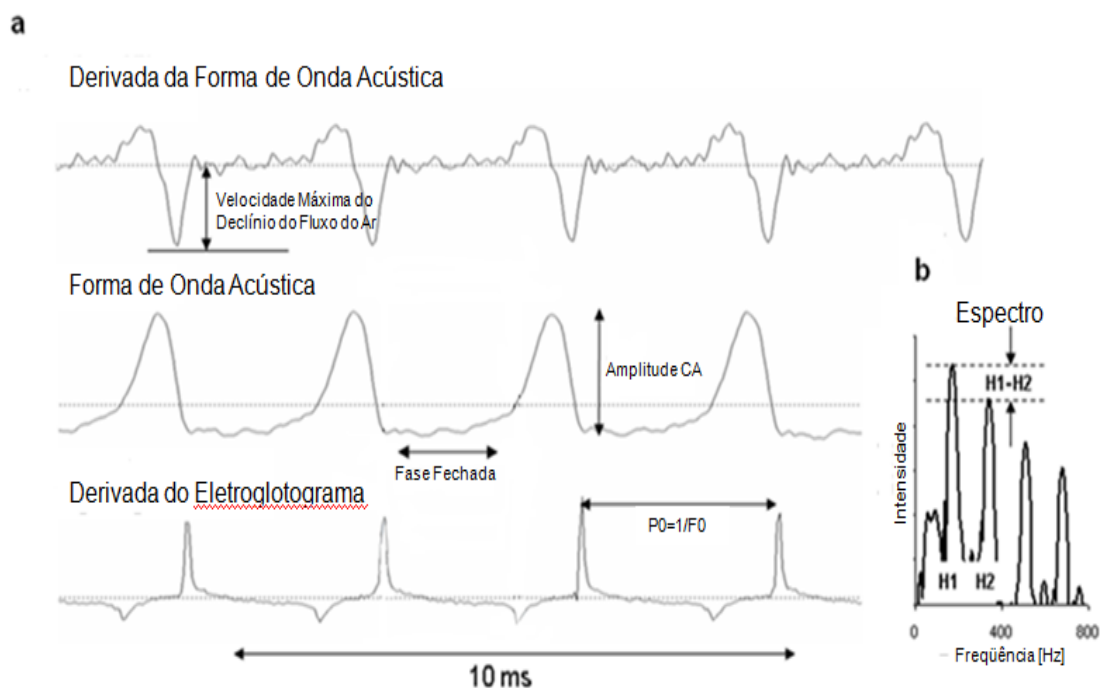


Figura 17: Medidas extraídas da forma da onda acústica, da derivada da forma da onda acústica e da derivada do sinal do EGG.

Na determinação dos instantes de referência para medição da duração do período e da duração da fase fechada, a sincronização entre a forma de onda acústica e a derivada do sinal do EGG foi de grande importância. Assim como a derivada do sinal do EGG forneceu informações importantes relativas aos momentos de abertura e de fechamento das pregas vocais, por vezes de difícil detecção principalmente no registro de falsete, a forma da onda acústica forneceu também informações complementares importantes nas situações em que picos de abertura no sinal da derivada do sinal do EGG apresentaram-se múltiplos ou não claros, como ilustrado na Figura 18. Nesses casos, um dos picos de abertura observado na derivada do sinal do EGG foi sincronizado com a descontinuidade correspondente encontrada na forma da onda acústica.

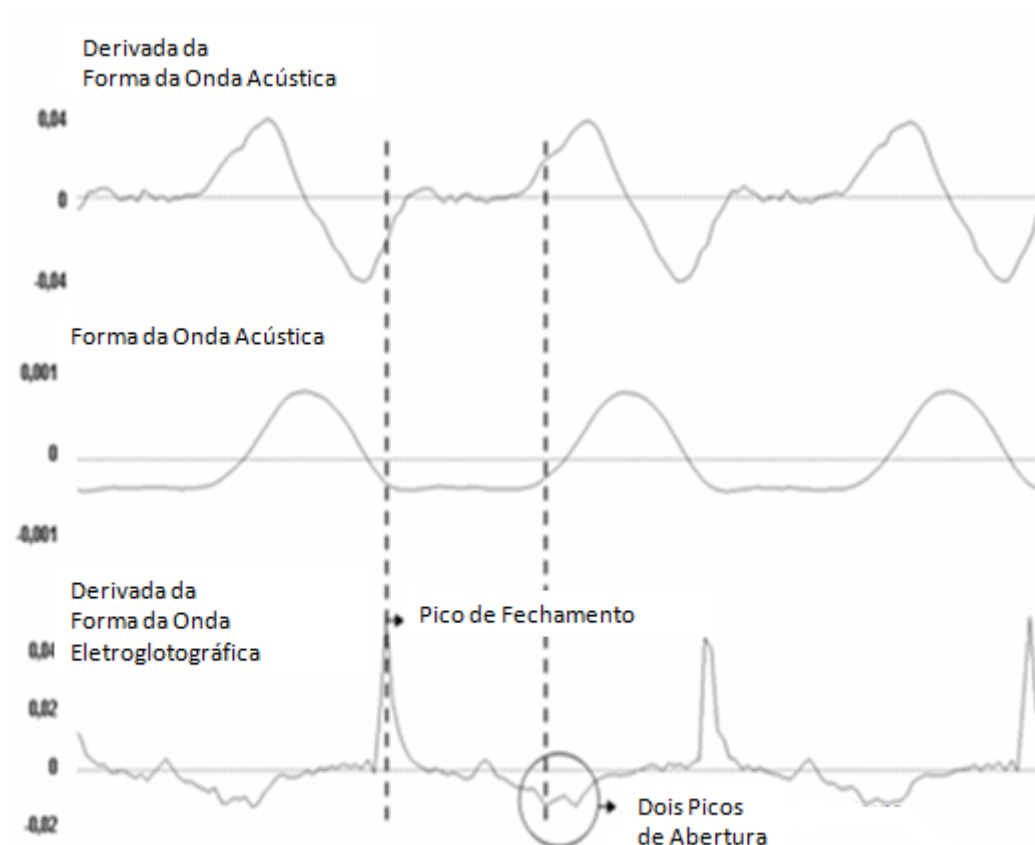


Figura 18: Sincronização entre a forma da onda acústica, a derivada da forma de onda acústica e da forma da onda eletroglotográfica. Na determinação da fase fechada, um dos picos de abertura observado na derivada do sinal do EGG foi sincronizado com a descontinuidade correspondente na forma da onda acústica.

Para cada um dos parâmetros analisados foram colhidas três medidas relativas a três períodos adjacentes, e a média entre as três foi considerada para a análise subsequente.

5.3. Resultados

Como o procedimento de filtragem inversa envolve decisões individuais quanto ao posicionamento dos filtros e, portanto, quanto à definição de frequências de formantes e de larguras de banda, julgou-se necessário a realização de um teste de hipóteses estatísticas, o Teste T (*student*), para verificar a consistência do experimentador neste sentido.

Trinta tons cantados no registro modal e trinta tons cantados no registro de falsete foram selecionados randomicamente e independentemente analisados pelo mesmo experimentador, em dias diferentes. Assim também, outros dez tons foram randomicamente selecionados e independentemente analisados por dois experimentadores. Os valores obtidos em ambas as situações foram submetidos ao Teste T. A Tabela 2 mostra a média das diferenças entre medidas obtidas em ambos os grupos e o respectivo desvio padrão, assim como os valores de T para cada um dos parâmetros. Como pode ser verificado, nenhum dos valores de T ultrapassou 2,04523 (valor extraído da tabela distribuição de *t-student* para nível de significância de 95%), e, sendo assim, as diferenças entre as medidas obtidas em ambas as situações foram consideradas não significativas com um nível de confiança de 95%.

Tabela 2: Média das diferenças entre medidas obtidas em ambos os grupos, respectivo desvio padrão, e valores de T para cada um dos parâmetros analisados.

Confiabilidade		F0	Duração Fase Fechada	Quociente Fechado	Amplitude CA	Vel Máx Declínio Fluxo Ar	H1-H2
Intra-examinador	Média	0,161	0,002	0,000	0,045	0,004	0,042
	Dp	0,340	0,005	0,002	0,068	0,009	2,040
	Valor T	1,499	1,081	0,101	2,037	1,266	0,065
Inter-examinador	Média	2,346	0,116	0,029	0,215	0,010	1,834
	Dp	3,774	0,275	0,071	0,515	0,021	2,843
	Valor T	1,966	1,329	1,305	1,318	1,527	2,041

A Figura 19 mostra exemplos típicos de formas de onda acústicas nos registros modal e de falsete, juntamente com suas respectivas derivadas e com as correspondentes derivadas do sinal do EGG. Como pode ser observado, a forma da onda acústica no registro modal apresenta uma fase fechada clara associada a um forte pico negativo em sua derivada, o qual indica grande velocidade máxima de declínio do fluxo de ar transglotal no ciclo glótico. Correspondentemente, derivada do sinal do EGG neste registro apresenta um forte pico positivo mostrando importante variação no contato entre as pregas vocais durante o fechamento glótico, seguido de um pico de abertura comparativamente mais discreto. No registro de falsete, por outro lado, a fase

fechada tende a ser não nítida, e a Velocidade Máxima de Declínio do Fluxo do Ar transglotal é visivelmente menor se comparada à do registro modal. Na derivada do sinal do EGG, os picos de fechamento e de abertura no registro de falsete são menores e semelhantes em amplitude.

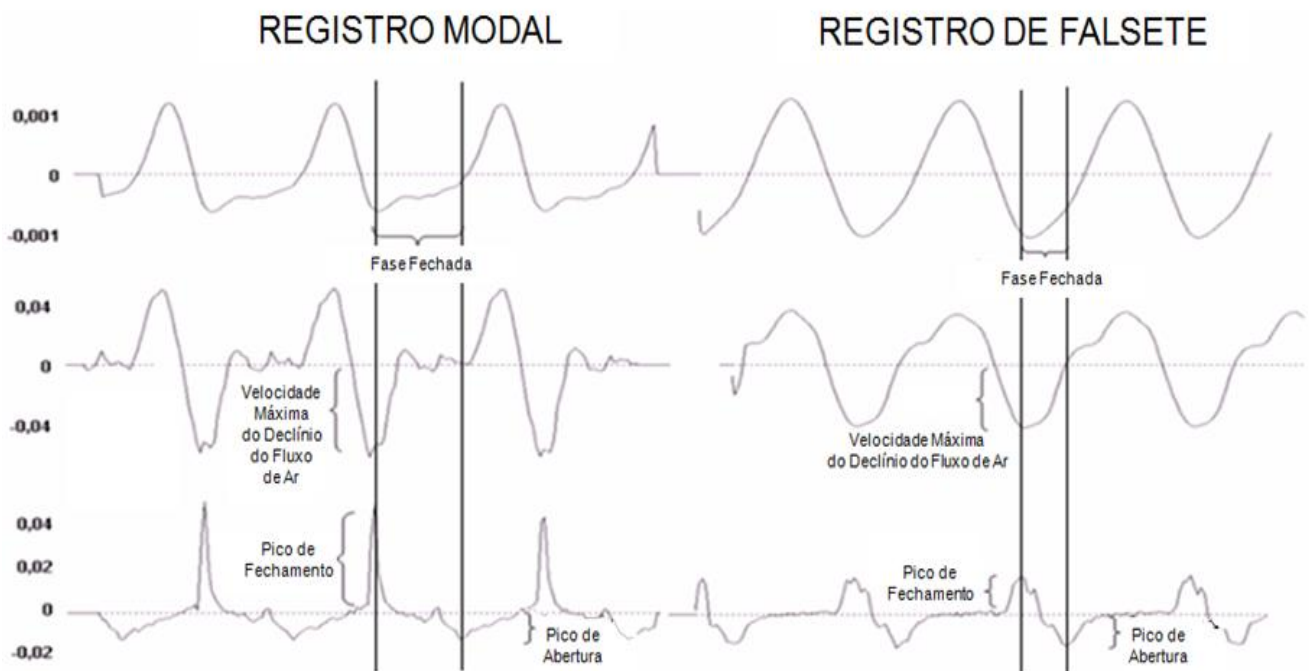


Figura 19: Exemplos típicos de formas de onda acústica nos registros modal e de falsete, suas respectivas derivadas e derivadas do sinal do EGG.

Os valores de Quociente Fechado obtidos para os registros modal e de falsete são comparados na Figura 20. Em todos os sujeitos esses valores foram claramente maiores no registro de modal do que no registro de falsete. No registro de modal eles variaram de 0,26 a 0,67 e no registro de falsete de 0,13 a 0,43. Na média entre todos os sujeitos, o valor do Quociente Fechado no registro de falsete correspondeu, aproximadamente, à metade (0,55, $dp = 0,19$) do valor do Quociente Fechado no registro modal.

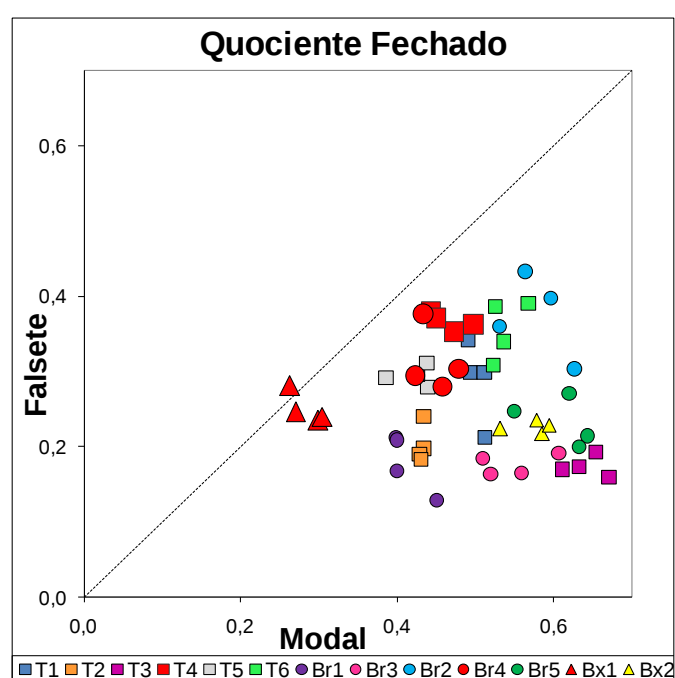


Figura 20: Valores de Quociente Fechado obtidos para os registros modal e de falsete para os treze cantores.

A Figura 21 compara os valores da diferença entre os níveis de intensidade dos dois harmônicos mais graves do espectro acústico da forma de onda acústica ($H1 - H2$) obtidos nos registros modal e de falsete para cada um dos sujeitos. Em todos os sujeitos, com exceção do cantor Bx2, esse nível foi predominantemente maior no registro de falsete do que no registro modal. Esses valores variaram de 2,8dB a 18,5dB no registro modal, e de 10,7dB a

34,3dB no registro de falsete, sendo que, considerando-se a média entre todos os sujeitos, a fundamental no registro de falsete foi 14,2dB (dp = 8,0dB) mais forte do que no registro modal.

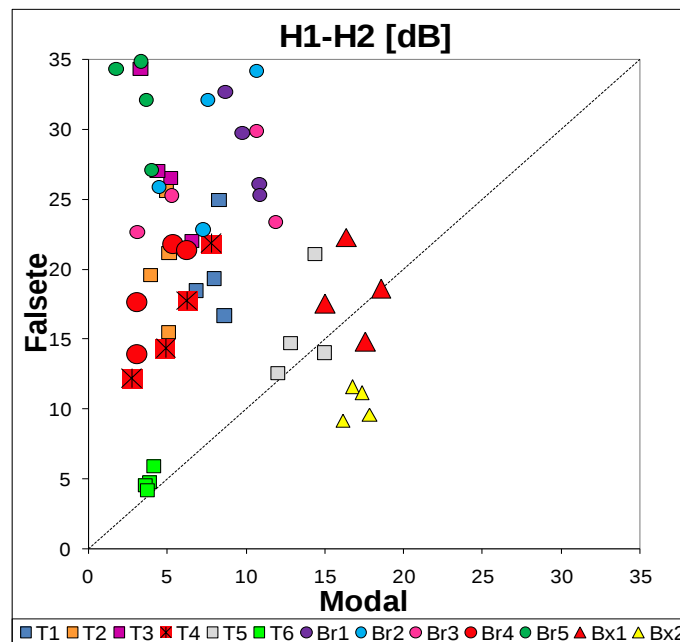


Figura 21: Valores de H1-H2 obtidos para os registros modal e de falsete para os treze cantores.

Os valores da Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar obtidos para ambos os registros são comparados na Figura 22. Para todos os cantores, esses valores foram predominantemente maiores no registro de modal do que no de registro de falsete, variando de 0,02 a 0,23 no registro modal e de 0,01 a 0,10 no registro de falsete. Na média entre todos os cantores, o valor da obtido para o registro de falsete correspondeu a 0,39 (dp = 0,31) do correspondente valor obtido para o registro modal.

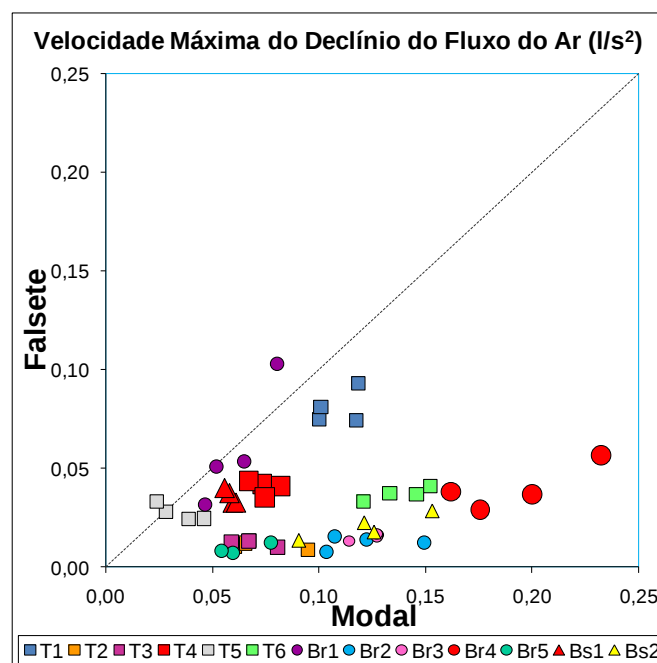


Figura 22: Valores de Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar obtidos para os registros modal e de falsete para os treze cantores.

Os valores encontrados para a Amplitude CA para ambos os registros em todos os sujeitos estão representados na Figura 23. No registro de modal esses valores variaram de 0,34 a 2,23, e no registro de falsete de 0,18 a 1,91. Ainda que para alguns cantores a diferença entre valores tenha sido relativamente pequena (sujeitos T1, T4, T5, Br5 e Bx1), a maioria deles apresentou valores maiores de Amplitude CA no registro de modal. Na média entre todos os sujeitos, a Amplitude CA no registro de falsete correspondeu a 0,68 ($dp = 0,38$) da Amplitude CA no registro de modal.

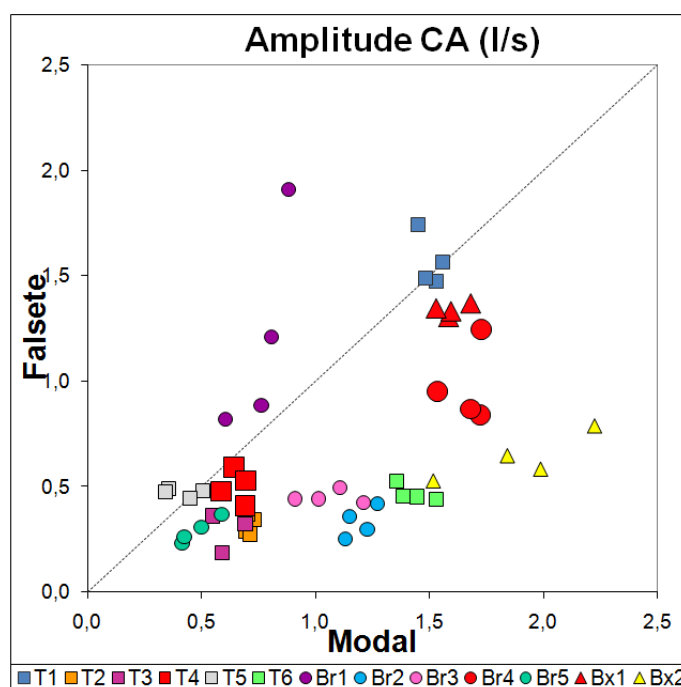


Figura 23: Valores de Amplitude CA obtidos para os registros modal e de falsete para os treze cantores.

Os valores do Quociente da Amplitude Normalizada encontrados para os registros modal e de falsete são comparados no gráfico da Figura 24. No registro de falsete esses valores variaram de 0,07 to 0,23 no registro modal e de 0,13 a 0,35 no registro de falsete sendo que para todos os sujeitos os valores do Quociente da Amplitude Normalizada foram claramente maiores no registro de falsete do que no registro modal. Na média entre todos os sujeitos, o Quociente da Amplitude Normalizada foi 4,0 (dp = 2,1) vezes maior no registro de falsete do que no registro modal.

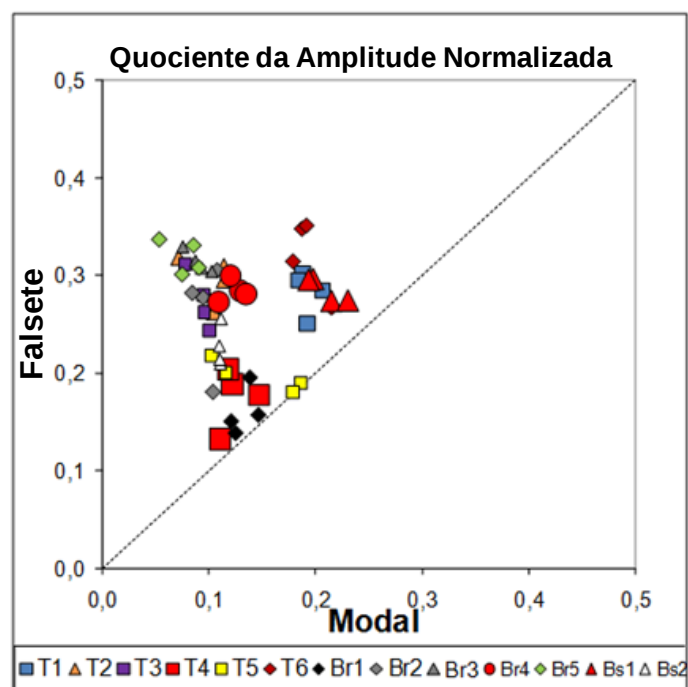


Figura 24: Valores de Quociente da Amplitude Normalizada obtidos para os registros modal e de falsete para os treze cantores.

Três dos treze cantores – T4, Br4 e Bs1 – referiram não estarem certos quanto à devida habilidade para o controle da produção de suas vozes nos registros modal e de falsete, ou mesmo quanto à devida habilidade para perceber as possíveis diferenças na qualidade de suas vozes se produzidas nos respectivos registros vocais. Ainda assim, a observação dos gráficos apresentados nas Figuras de 20 a 24, nos quais os referidos cantores aparecem representados pela cor vermelha, mostra que os valores obtidos para esses sujeitos de um modo geral não se distanciaram dos valores obtidos para os demais sujeitos.

Em particular, nota-se que tais valores encontram-se comparativamente mais próximos à linha de simetria do gráfico, ainda que, particularmente no caso do sujeito Br4, não tão próximos quando se trata dos parâmetros Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar e quociente da amplitude. De qualquer modo, pode-se inferir que os cantores T4, Br4 e Bs1 tenham reduzido as diferenças entre as características da fonte glótica de ambos os registros, ainda que, mesmo assim, não as eliminado por completo. Por outro lado, particularmente em relação ao parâmetro $H1 - H2$, é possível verificar que valores encontrados nas produções de diversos cantores apresentaram-se ainda mais próximos da linha de simetria do que os obtidos para os sujeitos que referiram não familiaridade com a produção e a percepção dos registros modal e de falsete. Sendo assim, é também possível inferir que a suposta redução de diferenças entre características da fonte glótica de ambos os registros não esteja necessariamente vinculada à falta de habilidade para produzir e/ou perceber claramente as diferenças entre os registros modal e de falsete.

Finalmente, os resultados da análise das correlações estabelecidas entre os parâmetros acústicos estudados encontram-se indicados na Tabela 3. As correlações mais fortes foram encontradas entre os parâmetros $H1-H2$ e Quociente da Amplitude Normalizada ($r = 0,878$), Quociente Fechado e Quociente da Amplitude Normalizada ($r = 0,861$), $H1 - H2$ e Quociente Fechado ($r = 0,810$), ilustradas na Figura 25.

Tabela 3: Correlações entre os parâmetros acústicos e níveis de significância.

		Quociente Fechado	H1-H2	Quociente da Amplitude Normalizada	Amplitude AC	Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar
Quociente Fechado	Pearson Correlation	1	,810(**)	-,861(**)	,245(*)	,651(**)
H1-H2	Pearson Correlation	-,810(**)	1	,878(**)	-,317(**)	-,666(**)
Quociente da Amplitude Normalizada	Pearson Correlation	-,861(**)	,878(**)	1	-,172	-,614(**)
Amplitude AC	Pearson Correlation	,245(*)	-,317(**)	-,172	1	,766(**)
Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar	Pearson Correlation	,651(**)	-,666(**)	-,614(**)	,766(**)	1
** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).						
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).						

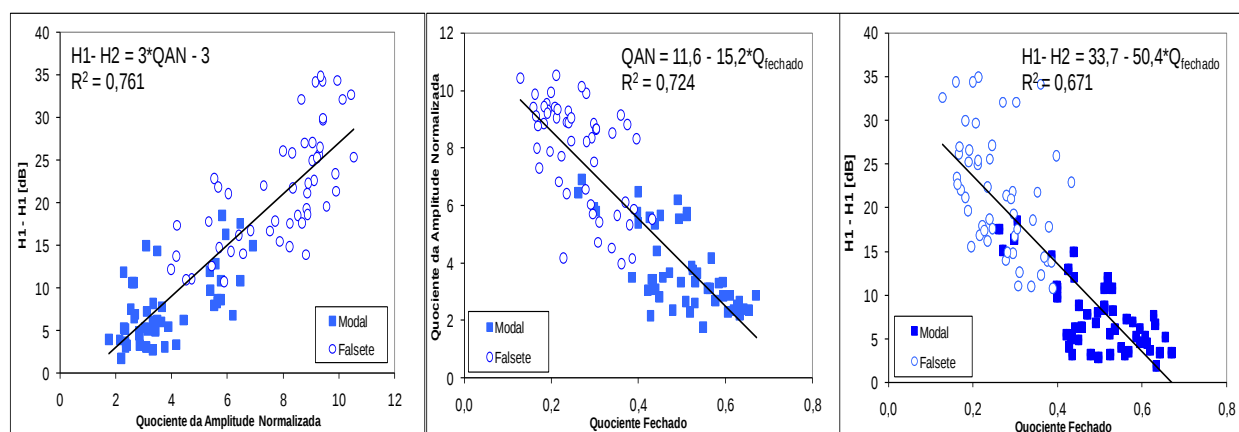


Figura 25: Exemplos de correlação entre os diferentes parâmetros acústicos glotais.

5.4. Conclusões

Os resultados obtidos nesta investigação sugerem a existência de diferenças sistemáticas entre as características da fonte glótica nos registros modal e de falsete. Em comparação com o registro de falsete, o registro modal apresentou:

1. Valores maiores de Quociente Fechado;
2. Fundamental no espectro glótico menos intensa;
3. Valores maiores da Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar;
4. Valores menores do Quociente da Amplitude Normalizada.

A correlação mais forte entre parâmetros foi estabelecida entre o Quociente da Amplitude Normalizada e os valores de $H1 - H2$.

6. SEGUNDO ESTUDO:

RELAÇÕES ENTRE A PERCEPÇÃO DOS REGISTROS VOCAIS E PARÂMETROS ACÚSTICOS DA FONTE GLÓTICA

Conforme referido, os registros vocais constituem regiões perceptualmente distintas de qualidade vocal que podem ser mantidas por determinadas faixas de *pitch* e *loudness* (Titze, 1994). Transições entre registros podem ser identificadas perceptualmente na área da frequência da fonação em que as coordenações da laringe são ajustadas de modo a produzir uma mudança na qualidade da voz. Se ocorrerem de forma abrupta, as transições entre registros podem resultar em “quebras” na voz (Keidar, 1986; Titze, 1994). Tais transições podem também ocorrer de modo suave, contudo, como assim o fazem os cantores líricos, por exemplo, que aparentemente aprendem a mesclar características das diferentes qualidades de voz quando transitam entre ambos os registros.

Na investigação descrita no capítulo anterior, características da fonte glótica de cinquenta e dois tons emitidos na mesma frequência, no registro modal e no registro de falsete, foram comparadas. E, conforme descrito, os resultados obtidos mostraram diferenças consistentes entre as propriedades da glote em ambos os registros. Em paralelo, no entanto, os valores encontrados para cada um dos parâmetros analisados variaram consideravelmente entre os vários cantores, e entre um mesmo cantor. Por exemplo, a diferença entre a média dos valores de Quociente Fechado encontrados no registro modal e no

de falsete atingiu em alguns sujeitos o valor de 0,469, enquanto que em outros esta diferença não ultrapassou 0,1.

Diferenças na fonte glótica dos diferentes registros vocais, portanto, podem chegar a ser discretas, e, em consequência, supostamente de difícil diferenciação do ponto de vista perceptivo.

Sendo assim, as questões que agora se colocam constituem: quais os aspectos do som percebido que de fato determinam a diferenciação perceptiva dos registros vocais? Ou como tais aspectos interagem ao determinar a representação perceptual dos registros da voz?

O objetivo da investigação que se segue foi o de comparar a percepção do registro modal e do registro de falsete com as propriedades da fonte glótica analisadas no estudo exposto anteriormente. Dezesseis especialistas em voz, cantores e professores de canto, classificaram como modal ou como de falsete os tons analisados no estudo prévio, e as suas respostas foram comparadas com as propriedades da fonte glótica.

6.1. Material e Método

As cento e quatro emissões – duas emissões para cada tom (uma emissão no registro modal e outra no de falsete) X quatro tons extraídos da região em que ambos os registros se sobrepuseram X treze cantores – selecionadas para filtragem inversa no estudo descrito no capítulo três foram copiados em ordem aleatória em um CD utilizando-se o programa *Glue*,

idealizado pelo engenheiro Svante Granqvist do Departamento de Fala, Música e Audição do Instituto Real de Tecnologia (*Speech, Music and Hearing Department, Royal Institute of Technology*). Este programa também inseriu uma pausa de três segundos entre cada um dos cento e quatro estímulos e forneceu uma lista da ordem dos estímulos obtida após a randomização.

Os cento e quatro estímulos foram então avaliados por dezesseis juízes especialistas em voz, cantores e professores de canto. Todos os juízes eram familiares com a distinção entre os termos registro modal e registro de falsete, e expressaram confiança em suas habilidades para identificar e discriminar tais registros.

Os estímulos foram apresentados por meio de alto-falantes, em intensidade confortável para audição, numa sala silenciosa, a todos os juízes simultaneamente. Os juízes foram orientados para que não interagissem no decorrer de todo o teste.

Cada um dos avaliadores recebeu uma folha contendo uma tabela com linhas numeradas de 1 a 104, e com duas colunas, uma para indicação dos votos recebidos para o registro modal, e outra para os correspondentes ao registro de falsete. Foi solicitado aos juízes que decidissem em qual dos dois registros vocais cada um dos estímulos havia sido produzido, e, assim, que indicassem com um “X” a coluna correspondente ao registro percebido, tão logo cada estímulo tivesse sido apresentado. O teste completo durou cerca de dez minutos. A Figura 26 mostra o modelo da folha utilizada para a avaliação perceptiva.

**You will hear a set of vowel sounds.
Please indicate if you think it was sung in falsetto or in modal**

Note	Registers			Note	Registers	
	Modal	Falsetto			Modal	Falsetto
1				53		
2				54		
3				55		
4				56		
5				57		
6				58		
7				59		
8				60		
9				61		
10				62		
11				63		
12				64		
13				65		
14				66		
15				67		
16				68		
17				69		
18				70		

Figura 26: Modelo do protocolo utilizado para a avaliação perceptiva.

6.2. Resultados

6.2.1. Avaliação Perceptiva

O gráfico da Figura 27 mostra o número de votos indicados para o registro modal, para cada um dos estímulos do teste. Nesse gráfico, os estímulos aparecem ordenados de acordo com este mesmo número, o de votos para o registro modal, de modo que os estímulos que receberam o maior número de votos para este registro aparecem localizados na extremidade direita do eixo das abscissas (eixo x). Dezesesseis votos, portanto, significa que os dezesesseis juízes concordaram que o tom em questão foi produzido no registro de modal, e zero, que todos eles concordaram que o tom não foi produzido nesse registro, isto é, eles concordaram que o tom percebido foi

produzido no registro de falsete. O gráfico mostra, assim, que quinze tons receberam dezesseis votos para modal, e mais outros onze tons receberam zero voto para este registro, o que significa dizer que para um total de vinte e seis casos houve unanimidade entre os juízes quanto à classificação do registro produzido. Da mesma forma, em mais vinte e um casos, excetuando-se apenas um juiz, todos os demais concordaram quanto à classificação do registro utilizado. Em outras palavras, houve concordância quase completa entre os juízes quanto à classificação de quase metade dos tons apresentados, fato que sugere grau razoável de consistência entre juízes.

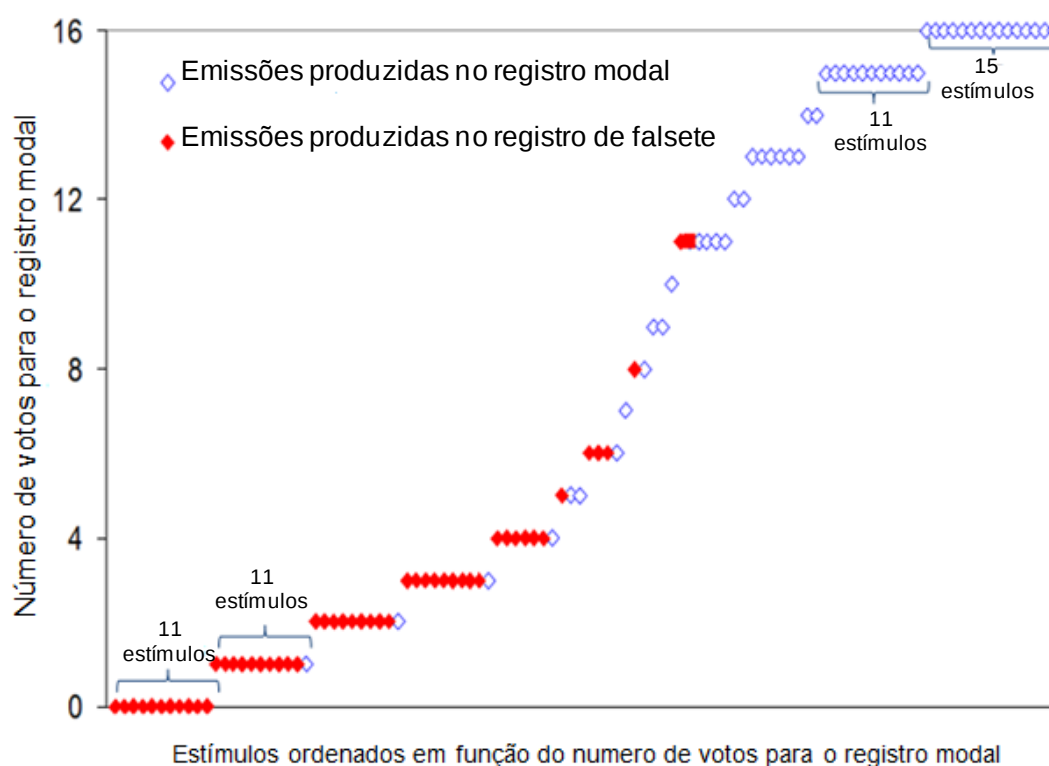


Figura 27: Número de votos para o registro modal, para cada um dos estímulos do teste.

Também, na maioria dos casos a classificação fornecida pelos juízes esteve de acordo com a intenção dos cantores. Esse fato aparece ilustrado na

Figura 28, que mostra a porcentagem dos votos dos diferentes juízes que estiveram de acordo com a intenção do cantor. O gráfico mostra que com exceção de cinco juízes (números 3, 4, 8, 12 e 15), todos os demais classificaram os tons de acordo com as intenções dos cantores em 80% dos casos ou mais.

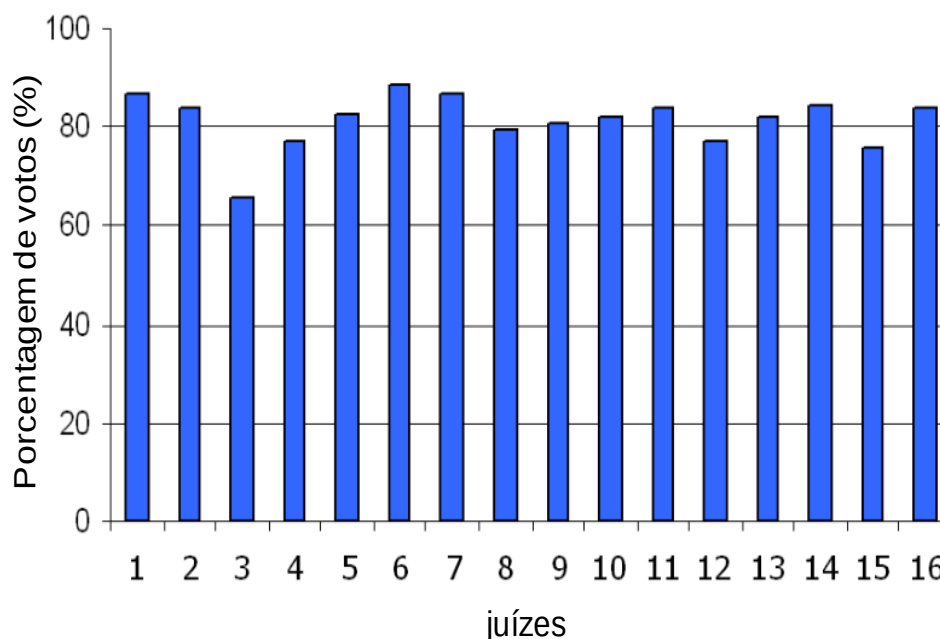


Figura 28: Porcentagem dos votos de cada juiz que esteve de acordo com a intenção do cantor.

Finalmente, o grau concordância quando na identificação dos exemplos das produções nos registros modal e de falsete apresentou-se semelhante para ambos os registros. A Figura 29 mostra que dos cinquenta e dois exemplos de produções no registro de falsete mais de 80% foram classificados de acordo com a intenção dos cantores, e que dos 52 exemplos de produções no registro modal quase 80% foram classificados de acordo com as intenções do cantor. Sendo assim, a maioria dos cento e quarto tons foram percebidos como exemplos representativos dos respectivos registros.

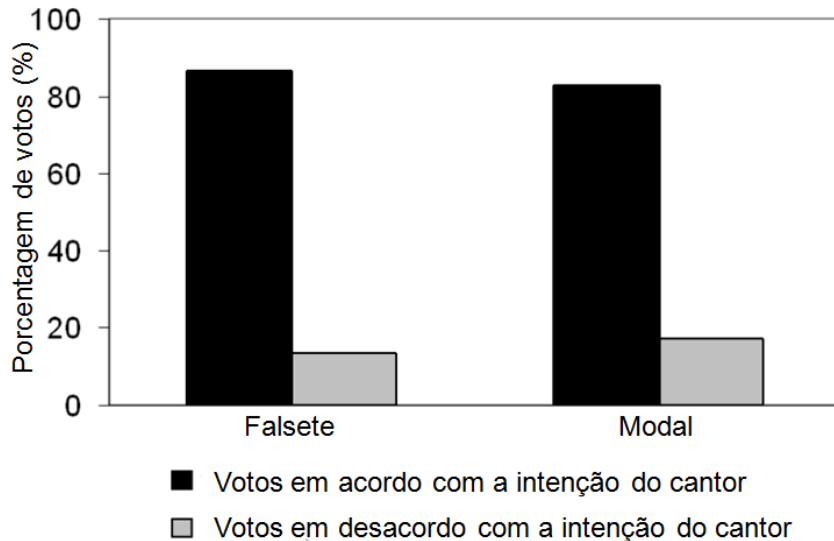
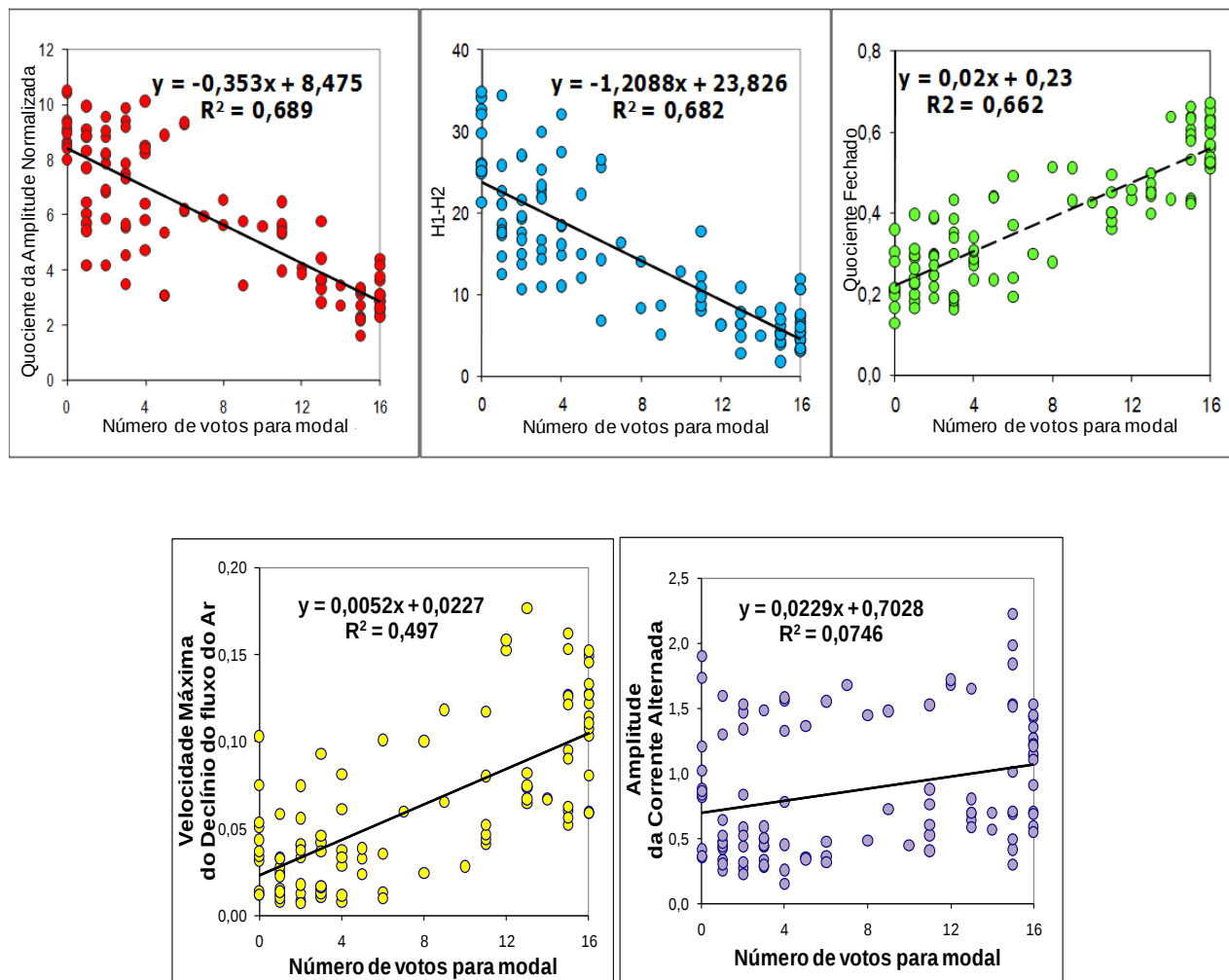


Figura 29: Porcentagem de votos em acordo com a intenção do cantor, em relação aos diferentes registros.

6.2.2. Relações entre a classificação dos registros e dados acústicos

A análise da correlação entre a classificação obtida no teste perceptivo e cada um dos parâmetros acústicos analisados no estudo anterior encontra-se ilustrada na Figura 30. Tons com valores maiores de Quociente Fechado e de Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar e valores menores de $H1 - H2$ e de Quociente da Amplitude Normalizada foram tipicamente associados com número maior de votos para o registro modal, e vice-versa.

Os parâmetros que apresentaram correlação mais forte com o número de votos para o registro modal foram o Quociente da Amplitude Normalizada, a diferença $H1 - H2$, e o quociente fechado. A correlação entre o número de votos para o registro modal e o parâmetro amplitude CA, por outro lado, apresentou-se incipiente.



Figuras 30 a, b e c: correlação entre a classificação obtida no teste perceptivo e cada um dos parâmetros acústicos analisados

6.3. Conclusões

Os resultados obtidos mostram que:

1. Tons com valores maiores de quociente echado, e valores menores de H1 – H2 e do Quociente da Amplitude Normalizada foram associados com número maior de votos para o registro modal, e vice-versa;

2. O Quociente da Amplitude Normalizada, que expressa a razão entre a Amplitude CA e a Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar, foi o parâmetro que apresentou correlação mais forte com os resultados do teste perceptivo;

3. O Quociente Fechado apresentou-se como parâmetro de maior relevância para a predição do número de votos para o registro de modal.

7. RELAÇÕES ENTRE PRODUÇÃO E PERCEPÇÃO NOS REGISTROS VOCALIS MODAL E DE FALSETE

Em nosso primeiro estudo, descrito no capítulo cinco, buscamos investigar as diferenças na fonte glótica em emissões no registro modal e no registro de falsete. A possibilidade de conseguir captar e efetivamente sistematizar os aspectos acústicos que, por hipótese, determinariam as diferenças na qualidade da voz de ambos os registros justificaria, por assim dizer, a realização de um segundo estudo em que as relações entre a percepção dos registros vocais e os parâmetros acústicos da fonte glótica fossem investigadas.

De fato, os resultados encontrados em nosso primeiro estudo revelaram diferenças sistemáticas na fonte glótica dos registros modal e de falsete, ainda que as características das diversas emissões em cada registro tenham variado consideravelmente entre os sujeitos e em um mesmo sujeito.

Sendo assim, nossos resultados mostraram que, praticamente sem exceção, os valores do Quociente Fechado foram maiores nas emissões produzidas no registro modal do que nas produzidas no registro de falsete. Resultados semelhantes foram reportados por Henrich e colaboradores (Henrich *et al*, 2004; Henrich *et al*, 2005), Sundberg & Högset (2001), Sundberg & Kullberg (1998) e Miller (2000).

Também, os valores de H1 – H2, com poucas exceções, foram maiores nas emissões produzidas no registro de falsete do que nas produzidas no registro modal, dados também apresentados por Sundberg & Högset (2001).

Além destes resultados, encontramos ainda valores de velocidade máxima de declínio do fluxo do ar e de Amplitude CA predominantemente maiores no registro modal do que no registro de falsete, e valores do Quociente da Amplitude Normalizada predominantemente maiores no registro de falsete do que no registro modal.

A grande variação de valores para um mesmo parâmetro dentro do mesmo registro poderia estar de alguma forma relacionada às diferenças entre as experiências prévias de cada um dos sujeitos.

Mesmo sendo todos eles integrantes de um mesmo grupo coral semiprofissional, três dos treze cantores (T4, Br4, Bx1) referiram, por exemplo, não perceber claramente as diferenças na qualidade de suas vozes quando ao cantar no registro modal ou no registro de falsete, ou disseram não estar certos quanto à própria habilidade em controlar a produção de suas vozes em um ou em outro registro. Com poucas exceções, esses cantores ainda assim produziram emissões com características acústicas que puderam ser tipicamente associadas aos respectivos registros vocais utilizados. As exceções, no caso, referiram-se a duas das oito emissões produzidas pelo cantor Bx1. Numa delas, o valor de $H1 - H2$ no registro modal apareceu discretamente maior do que o correspondente valor no registro de falsete; na outra, o valor do Quociente Fechado no registro de falsete apareceu discretamente maior do que o correspondente valor no registro modal. Esse cantor, especificamente, havia iniciado atividades de canto coral há apenas oito meses e freqüentava aulas particulares de canto há não mais do que quatro meses.

Em contrapartida, também alguns cantores familiarizados com a produção e a percepção de suas vozes em ambos os registros (os cantores T1, T5, Br1, Bx2) produziram algumas emissões com características acústicas não tipicamente associadas aos respectivos registros vocais utilizados. Esses cantores, no caso, tinham entre quatro e quatorze anos de experiência na atividade de canto coral, e entre dois e nove anos de experiência em aulas particulares de canto erudito.

A opção por incluir entre os sujeitos desta pesquisa cantores com os mais diversos graus de experiência na atividade do canto, ou mesmo com diferentes habilidades para percepção e produção da própria voz nos diferentes registros, foi propositada. Esta decisão foi tomada com base na crença de que tal diversidade poderia trazer diversidade também em termos de dados para análise e, especificamente, em termos de informações sobre as características da fonte glótica nos diferentes registros vocais.

Sob tal perspectiva, os resultados encontrados no primeiro estudo poderiam inclusive suscitar o levantamento de duas possíveis questões, ainda anteriores às questões levantadas no início deste capítulo, quais sejam: como, de fato, se caracterizam as emissões que cantores produzem quando solicitados a cantar no registro modal ou no registro de falsete? Ou, mais especificamente: a intenção do cantor corresponde efetivamente à sua produção?

Nossos resultados mostraram que das quinhentas e vinte medidas colhidas (de cinco parâmetros em cento e quatro tons analisados) apenas dezessete delas (3,2%) apresentaram características que contrastaram com as

características que, em nosso estudo, sistematicamente diferenciaram os respectivos registros vocais utilizados. Do ponto de vista da produção, portanto, as emissões analisadas neste estudo foram consideradas representativas dos registros vocais estudados.

Em paralelo, é possível também levantar a hipótese de que, se por um lado, cantores com pouco treino vocal, e supostamente com menor refinamento no controle de diferentes ajustes laríngeos, produzem emissões imprecisas e de difícil identificação quanto ao registro utilizado, por outro lado, cantores com maior tempo de treino vocal e supostamente com maior refinamento no controle de diferentes ajustes laríngeos, produzem emissões que mesclam características de ambos os registros e, do mesmo modo, de difícil identificação quanto ao registro utilizado.

Quando se trata da produção dos registros vocais, portanto, os resultados do nosso primeiro estudo sugerem que as manifestações sonoras relacionadas aos diferentes registros vocais são tantas quantas as possibilidades de variação e de combinação dos diferentes parâmetros acústicos; e que, contudo, tais variações e combinações a certo ponto mantêm alguma relação de semelhança que as agrupa, ainda assim, em categorias distintas de qualidade de voz.

A origem fisiológica de muitas dessas variações está provavelmente associada às variações relacionadas ao comprimento, espessura e tensão das pregas vocais, e ao modo como elas oscilam nos diferentes registros da voz.

Sendo assim, a ação muscular na regulação da tensão das pregas vocais no registro modal, especialmente dos músculos TA, resulta em pregas

vocais mais encurtadas, e na criação de uma estrutura vibrátil espessa e profunda. O fechamento glotal se inicia já na parte mais inferior das pregas vocais. Há um envolvimento completo de toda a prega vocal na vibração com o estabelecimento de uma onda mucosa bastante definida.

O deslocamento da mucosa em pregas vocais então mais espessas resulta em movimentos de oscilação das pregas no plano vertical, de baixo para cima, os quais fazem gerar um intervalo de tempo entre o deslocamento da margem inferior das pregas vocais, no início do fechamento glotal, e o deslocamento da margem superior, já ao final do fechamento glotal. Este movimento no eixo vertical resulta em aumento na duração da fase fechada no ciclo vibratório. A Figura 31 ilustra esta situação, de acordo com modelo proposto por Sundberg & Högset (2001).

O gráfico mostra, na primeira situação, que o início do movimento de fechamento das margens inferiores das pregas vocais coincide no tempo com o movimento ainda de abertura de suas margens superiores. Assim também, o início do retorno das margens inferiores à sua posição medial determina, desde então, o início da fase fechada do ciclo vibratório, mesmo anteriormente ao início do retorno da margem superior a sua respectiva posição medial. Fica assim bastante claro como o intervalo de tempo entre os deslocamentos das margens inferior e superior das pregas vocais faz resultar na diminuição da duração da fase aberta e no aumento da duração da fase fechada do ciclo glótico.

No registro de falsete, a atuação mais evidente dos músculos CT associada à atuação consideravelmente mais reduzida dos músculos TA

resulta em pregas vocais mais alongadas e menos espessas. A estrutura vibrátil então mais rígida e também menos espessa desenvolve modos de oscilação sem deslocamentos de mucosa no eixo vertical. Nesse registro o fechamento glotal completo normalmente não chega a ocorrer, embora, evidentemente, os movimentos de vibração das pregas vocais resultem em aumento ou diminuição da área glótica, caracterizando de qualquer modo um ciclo glótico.

Nessa segunda situação, apenas parte das pregas vocais está envolvida nos movimentos oscilatórios e o intervalo de tempo entre os deslocamentos das margens inferior e superior das pregas vocais em direção à linha média é praticamente nulo, como ilustrado na Figura 31. Em consequência, a duração da fase aberta apresenta-se aumentada, se comparada à sua duração no registro modal, caracterizando um ciclo de vibração com duração de fase aberta e de fase fechada bastante semelhante.

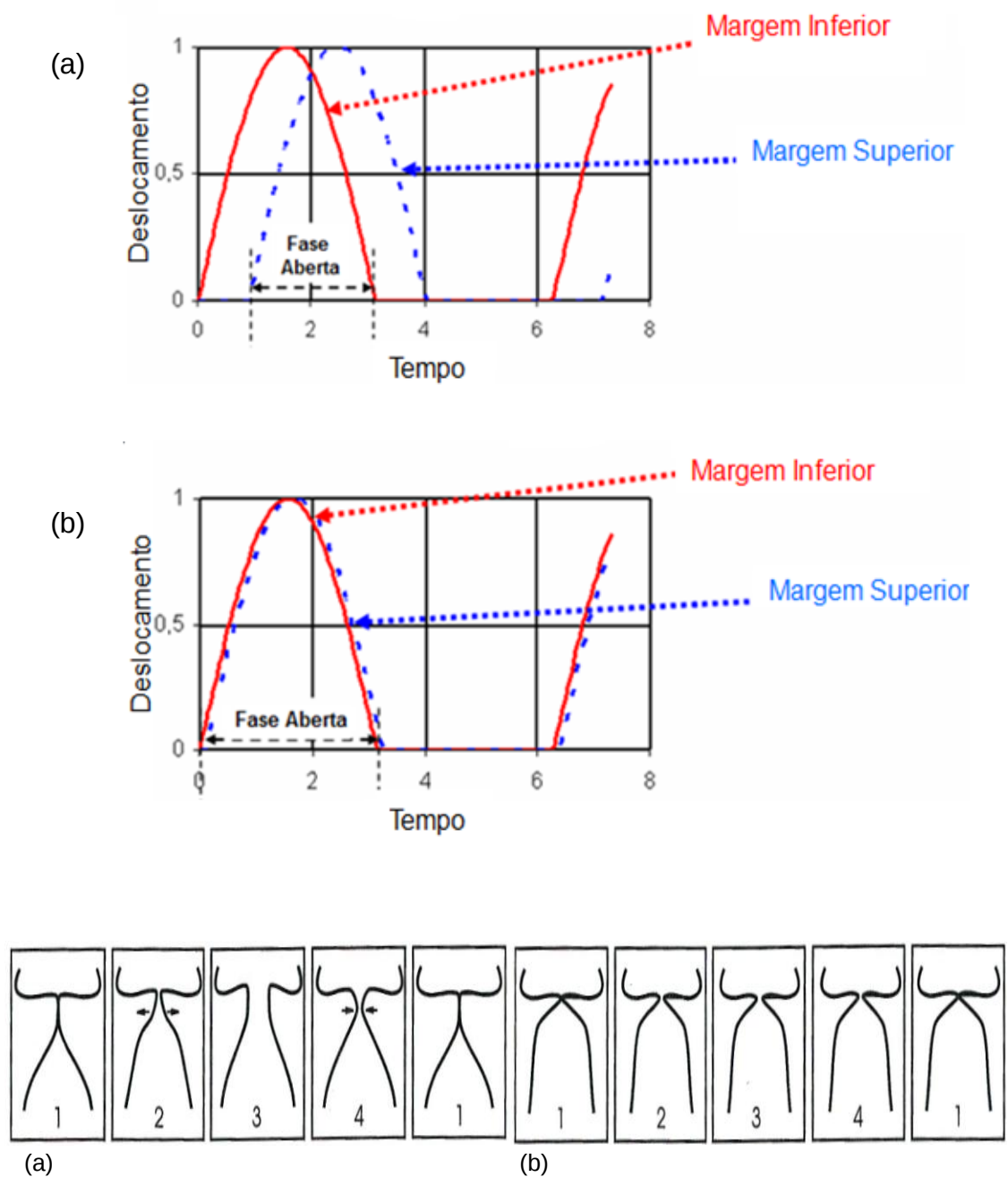


Figura 31: Deslocamento das margens das pregas vocais (a) no registro modal e (b) no registro de falsete (Sundberg & Högset, 2001) e representação da diferença de espessura das pregas vocais (a) no registro modal e (b) no registro de falsete (Miller, 2000).

Sendo assim, as variações no comprimento e na espessura das pregas vocais nos diferentes modos oscilatórios resultam em fase fechada mais longa com valores maiores de Quociente Fechado no registro modal, e em fase fechada mais breve com valores menores de Quociente Fechado no registro de falsete.

Tais variações, por sua vez, estão associadas a diferenças na forma da onda glótica e, portanto, a diferenças nas características do espectro da fonte glótica. Nas relações entre forma de onda acústica e características do espectro da fonte, formas de onda com fase fechada mais definida tendem a resultar em menor energia na frequência fundamental do espectro glótico, e formas de onda mais suavizadas, com fases não de fato fechadas, mas “quase fechadas”, tendem a resultar em maior energia na frequência fundamental do espectro glótico (Sundberg & Gaufin, 1979; Gaufin & Sundberg, 1980).

Nossos resultados confirmam as observações de que fases fechadas mais longas resultam em menor quantidade de energia na frequência fundamental do espectro acústico da fonte glótica, e, portanto, em valores menores da diferença $H1 - H2$; e que fases fechadas de menor duração, verificadas nas formas de onda mais sinusoidais, resultam em maior quantidade de energia na frequência fundamental do espectro acústico da fonte glótica e em valores maiores de $H1 - H2$.

As fases fechadas mais longas têm sido também associadas a modos de fonação mais tensos (*pressed phonation*), em oposição aos modos de fonação mais fluidos (*flow phonation*) ou soprosos (*breathy phonation*) (Sundberg *et al*, 1993; Peterson *et al*, 1994). Tais modos de fonação mais

tensa tenderiam a elevar a Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar no decorrer do ciclo glótico (Sundberg *et al*, 1993). Em outras palavras, se emissões em um mesmo *pitch* forem realizadas com a utilização de diferentes modos de fonação, e se todos os demais parâmetros glóticos por hipótese se mantiverem os mesmos, a Velocidade de Fechamento das pregas vocais nos modos de fonação mais tensos tenderia a ser maior e o tempo de retorno das pregas à fase fechada em consequência menor.

Diversos fatores possivelmente contribuem para que este tipo de correlação se estabeleça. Autores têm feito menção ao importante papel da pressão subglótica em suas relações com a resistência oferecida por pregas vocais, mais ou menos firmemente aduzidas, sendo que maiores níveis de pressão subglótica estariam associados a maiores níveis de pressão sonora do fluxo glótico e a valores maiores da Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar (Sundberg *et al*, 1993).

Nossos achados mostraram que, além de fases fechadas mais longas, o registro modal apresentou também valores maiores de velocidade máxima de declínio do fluxo do ar, sugerindo, portanto, níveis maiores de pressão subglótica nesse registro, assim como verificado por Sundberg & Högset (2001). Evidentemente, outros estudos são necessários para averiguar como de fato a relação entre Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar, pressão subglótica e nível de pressão sonora é estabelecida nos diferentes registros vocais.

A Velocidade de Fechamento das pregas vocais tem sido também associada à força de adução envolvida no fechamento glótico, maior

Velocidade de Fechamento das pregas, maior força de adução (Hillman *et al*, 1989; Hillman *et al*, 1990).

Se assim for, nossos resultados permitem situar o registro modal e o registro de falsete em pontos específicos do contínuo possível entre modos de fonação mais tensa (*pressed phonation*) e mais soprosa (*breathy phonation*) em função da duração da fase fechada no ciclo glótico, dos valores de Velocidade de Fechamento das pregas vocais, da força de adução envolvida, possivelmente também da pressão subglótica que caracteriza os diferentes registros vocais.

Ainda, a Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar tem sido correlacionada à amplitude CA, de modo que o aumento da Amplitude CA resulta em aumento da Velocidade de Fechamento das pregas vocais. (Sundberg *et al*, 1993). A amplitude CA, por sua vez, é dependente da pressão subglótica e da força de adução glótica, sendo que: maior pressão subglótica resulta em maiores picos de amplitude; e maior força de adução resulta menores picos de amplitude (Isshiki, 1964).

Os valores de Amplitude CA encontrados em nosso estudo, assim como os valores de Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar, apresentaram-se sistematicamente maiores no registro modal do que no registro de falsete, e fortalecem a idéia de que tanto pressão subglótica como força de adução são maiores neste registro.

Interessante observar que especificamente com relação aos valores de amplitude CA, nossos resultados diferiram dos encontrados por Sundberg &

Gaufin (1979), que referiram amplitudes maiores na forma de onda em modos de fonação com níveis menores de pressão subglótica e de força de adução.

Considerando que os procedimentos para coleta das medidas de Amplitude CA foram os mesmos nos dois estudos, arriscamo-nos a levantar hipóteses no sentido de que tais diferenças possam ser explicadas a partir das relações, elas mesmas, que se estabelecem entre a pressão subglótica e a força de adução na determinação da amplitude CA, conforme sugeridas por Isshiki (1964). Se a Amplitude CA constitui o resultado da razão entre pressão subglótica e força de adução, então seria possível especular, por exemplo, que as emissões no registro modal analisadas em nosso estudo tenham sido em geral produzidas com pressão subglótica proporcionalmente maior em relação às emissões analisadas pelos referidos autores, combinando fases fechadas longas com níveis relativamente altos de Amplitude CA.

De qualquer modo, diversas combinações na relação entre níveis de pressão subglótica e de forças de adução poderiam hipoteticamente ser estabelecidas e assim determinar diferentes níveis de amplitude CA, os quais, a certo ponto, possivelmente justificariam as diferenças entre resultados encontrados.

Neste estudo, contudo, não levantamos dados diretamente relacionados à pressão subglótica e, sendo assim, outros estudos seriam necessários para compreender como ocorrem as relações entre pressão subglótica e força de adução na determinação da Amplitude CA nos diferentes tipos de fonação e nos diferentes registros vocais.

Finalmente, estudos têm sugerido que a razão entre a Amplitude CA e a Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar, denominada Quociente da Amplitude Normalizada, reflete a força de adução glótica, maiores valores de Quociente da Amplitude Normalizada refletindo menor grau de adução e vice-versa. Segundo autores (Alku *et al*, 2002), este quociente é sensível para diferenciar diferentes modos de fonação: soprosa (*breathy*), normal (possivelmente equivalente à *flow phonation* anteriormente referida) ou tensa (*pressed*).

Em nosso estudo, a combinação entre valores discretamente maiores de Amplitude CA com valores significativamente maiores de Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar nas emissões no registro modal resultou, por assim dizer, em valores menores de Quociente da Amplitude Normalizada nesse registro. Sendo assim, nossos resultados confirmam adução glótica mais firme no registro modal do que no registro de falsete, o que, no entanto, não significa necessariamente que apenas os ajustes glóticos que determinam o grau de adução tenham sido os responsáveis pelos valores menores do quociente da amplitude encontrados no registro de modal, e vice-versa. É possível que outros ajustes glóticos possam também influenciar a variação dos valores deste quociente.

A análise da correlação entre os diversos parâmetros glotais analisados aponta ainda para uma forte correlação entre os mesmos, sendo as correlações mais fortes as estabelecidas entre os parâmetros H1-H2 e Quociente da Amplitude Normalizada ($r = 0,872$), Quociente Fechado e Quociente da Amplitude Normalizada ($r = 0,850$), H1 – H2 e Quociente Fechado ($r = 0,819$).

Os resultados encontrados em nosso primeiro estudo mostram, portanto, que os parâmetros acústicos utilizados para análise da fonte glótica nas emissões estudadas foram sensíveis às diferenças entre os registros modal e de falsete, e que estas diferenças refletem características dos ajustes laríngenos encontrados nestes registros, em que pregas vocais mais ou menos alongadas, mais ou menos espessas, mais ou menos tensas interagem e co-determinam as características do fluxo aéreo glotal e do som gerado na fonte glótica.

Os dados obtidos permitem ainda admitir a existência de um possível contínuo na dimensão acústica na qual se manifestam as características dos registros vocais, dimensão em que diversos parâmetros acústicos se correlacionam para compor sonoridades diversas, essas a certo ponto reconhecidas ponto como correspondentes à qualidade da voz produzida no registro modal ou no registro de falsete.

Em outras palavras, é a percepção que estabelece e delimita os diferentes registros vocais e, em última instância, determina a existência do fenômeno dos registros da voz. A sistematicidade encontrada nos resultados relativos à produção vocal nos estimulou a então investigar suas possíveis relações com a percepção.

Conforme descrito no capítulo seis, a percepção das emissões analisadas no primeiro estudo foi avaliada por meio de um teste perceptivo em que juízes deveriam classificar cada uma das emissões em termos do na qual as mesmas foram emitidas.

A comparação entre as respostas obtidas no teste perceptivo e os diferentes parâmetros acústicos mostrou que valores menores de $H1 - H2$ e de

Quociente da Amplitude Normalizada, e valores maiores de Quociente Fechado e de Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar foram tipicamente associados a números maiores de votos para o registro modal, e vice-versa.

Dentre estes, H1 – H2 foi o parâmetro que apresentou correlação mais forte com o número de votos para o registro modal ($r = 0,825$), correlação de qualquer forma muito próxima à encontrada entre o número de votos para o registro modal e o Quociente Fechado ($r = 0,814$). Seguiram-se então as correlações estabelecidas com o Quociente da Amplitude Normalizada ($r = 0,807$) e a Velocidade Máxima do Declínio de Fluxo do Ar ($r = 0,705$). Finalmente, a correlação entre o número de votos para o registro modal e o parâmetro Amplitude CA apresentou-se incipiente ($r = 0,274$).

Ou seja, os parâmetros acústicos mais salientes para a classificação de determinado som como tendo sido produzido no registro modal ou no registro de falsete corresponderam, justamente, aos parâmetros que, na produção vocal desses registros estabeleceram forte correlação entre si, quais sejam: H1-H2, Quociente Fechado e Quociente da Amplitude Normalizada. Esta forte correlação provavelmente se estabelece em função de H1-H2 refletir características do espectro glótico determinado pelo modo como as pregas vocais se movimentam em função de suas formas, tamanhos e firmeza ou força de adução, estes por sua vez expressos pelo Quociente Fechado e pelo Quociente da Amplitude Normalizada. A associação entre estes três parâmetros, principalmente, cria ao que tudo indica a principal saliência perceptiva para a identificação dos registros modal e de falsete.

Para então encontrar a melhor descrição da relação entre a variação do número de votos em função da variação dos diversos parâmetros acústicos realizamos uma análise de regressão múltipla, método *stepwise*.

Os resultados, apresentados nas Tabelas 3 e 4, e ilustrados na Figura 32, mostram que o Quociente Fechado apresentou-se como o parâmetro de maior relevância para a predição do número de votos para modal, seguido dos parâmetros H1 – H2, Velocidade Máxima do Declínio de Fluxo do Ar e Amplitude CA.

Interessante observar que o Quociente da Amplitude Normalizada falhou em aparecer como variável significativa na predição da variável dependente, o número de votos. Isto foi provavelmente causado justamente pela forte correlação que este quociente estabeleceu tanto com H1-H2 ($r = 0,872$), como com o Quociente Fechado como ($r = 0,850$).

Tabela 3: Variáveis preditivas do número de votos para o registro modal e suas significâncias estatísticas de acordo com a análise SSPS.

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	-5,779	,820		-7,044	,000
	Qcl	35,029	2,014	,865	17,394	,000
2	(Constant)	2,411	1,890		1,276	,205
	Qcl	23,104	3,122	,570	7,401	,000
	H1-H2	-,249	,053	-,364	-4,718	,000
3	(Constant)	1,108	1,881		,589	,557
	Qcl	20,820	3,119	,514	6,676	,000
	H1-H2	-,201	,054	-,294	-3,746	,000
	MFDR	23,820	8,297	,174	2,871	,005
4	(Constant)	2,718	1,857		1,463	,147
	Qcl	16,895	3,200	,417	5,281	,000
	H1-H2	-,186	,051	-,272	-3,621	,000
	MFDR	60,981	13,705	,445	4,449	,000
	AC amp	-3,001	,904	-,253	-3,320	,001
a Dependent Variable: votes						

Tabela 4: Resumo da análise da regressão múltipla das relações entre os vários parâmetros da fonte glótica e o número de votos para o registro modal. “r” diz respeito à correlação. O desvio padrão está relacionado ao número de juízes.

Model	r	Adjusted R Square	Standard Error of the Estimate
Q _{closed}	,865	,745	3,063
Q _{closed} , H1-H2	,891	,789	2,786
Q _{closed} H1-H2, MFDR	,900	,803	2,692
Q _{closed} , H1-H2, MFDR, AC amp.	,910	,821	2,566

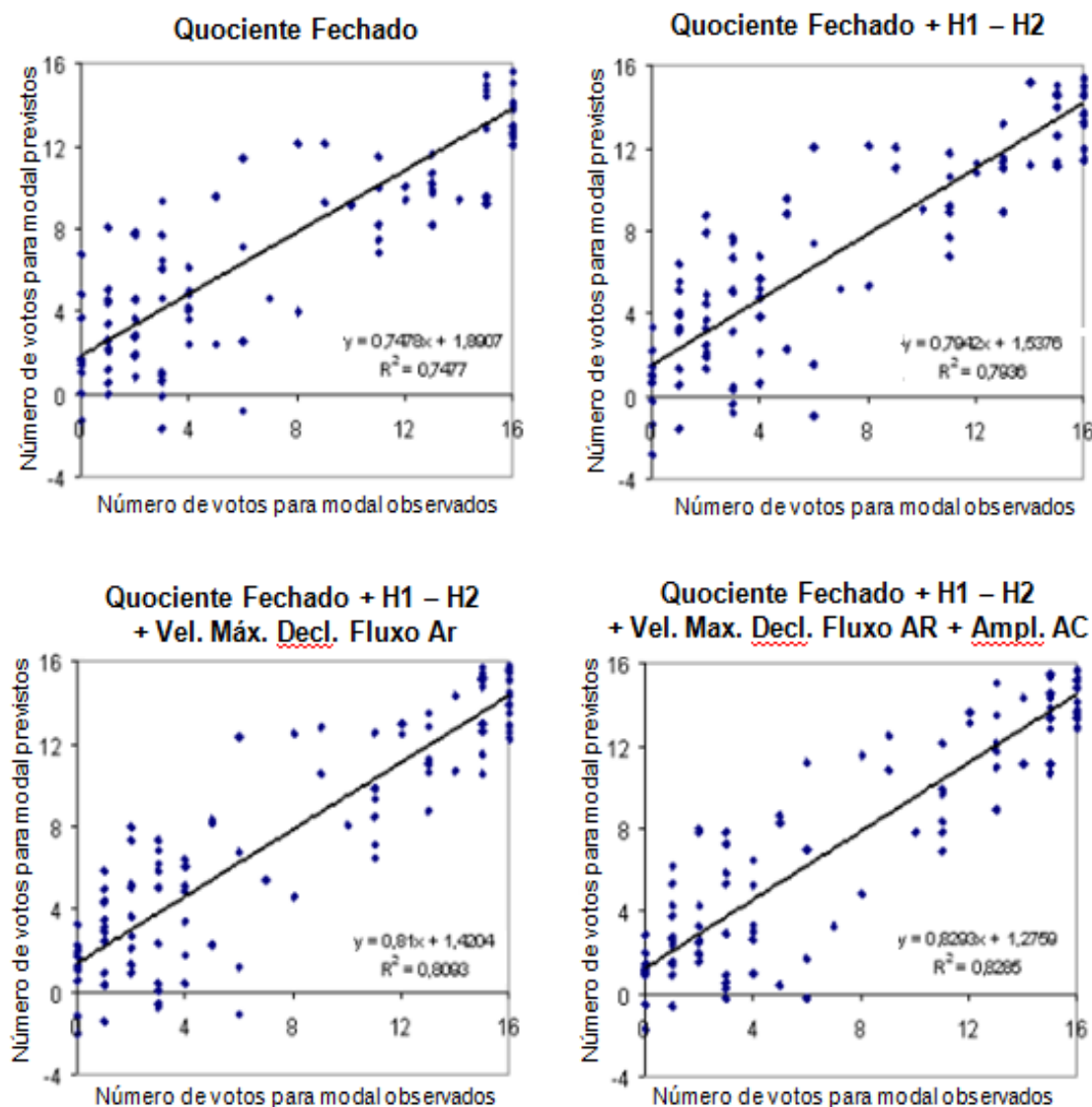


Figura 32: Resultados de tentativas de uso dos diferentes parâmetros acústicos glotais para predição do número de votos para o registro modal no teste perceptivo, baseados na análise de regressão múltipla, método *stepwise*. Os parâmetros utilizados para a predição em cada situação aparecem indicados acima de cada um dos gráficos.

Finalmente, nossos dados foram submetidos a uma Análise de *Cluster* visando organizar as emissões com base em suas semelhanças acústicas. As características acústicas dos agrupamentos então delineados foram

comparadas com o número de votos para o registro modal atribuídos às emissões pertencentes a cada um dos agrupamentos, expresso em porcentagem.

Imaginamos a possibilidade de encontrar grupos cujas semelhanças acústicas de alguma forma refletissem uma organização sonora supostamente subjacente à representação perceptiva (natural?) das diferentes qualidades de VOZ.

Conforme ilustrado na nuvem de pontos apresentada na Figura 33, encontramos grupos de emissões claramente delimitados, com pouca ou praticamente nenhuma sobreposição de elementos de grupos distintos, mostrando variabilidade inter-grupo importante, com elementos dos diferentes grupos bastante diferentes em termos de suas características acústicas. Também, a variabilidade intra-grupo apresentou-se relativamente pequena, mostrando, em paralelo, que cada uma das categorias foi constituída por elementos bastante semelhantes em suas características.

No gráfico, a identificação de cada uma das emissões é feita pelo símbolo da nota musical emitida seguido pela inicial do nome do registro na qual ela foi produzida (M: registro modal; F: registro de falsete).

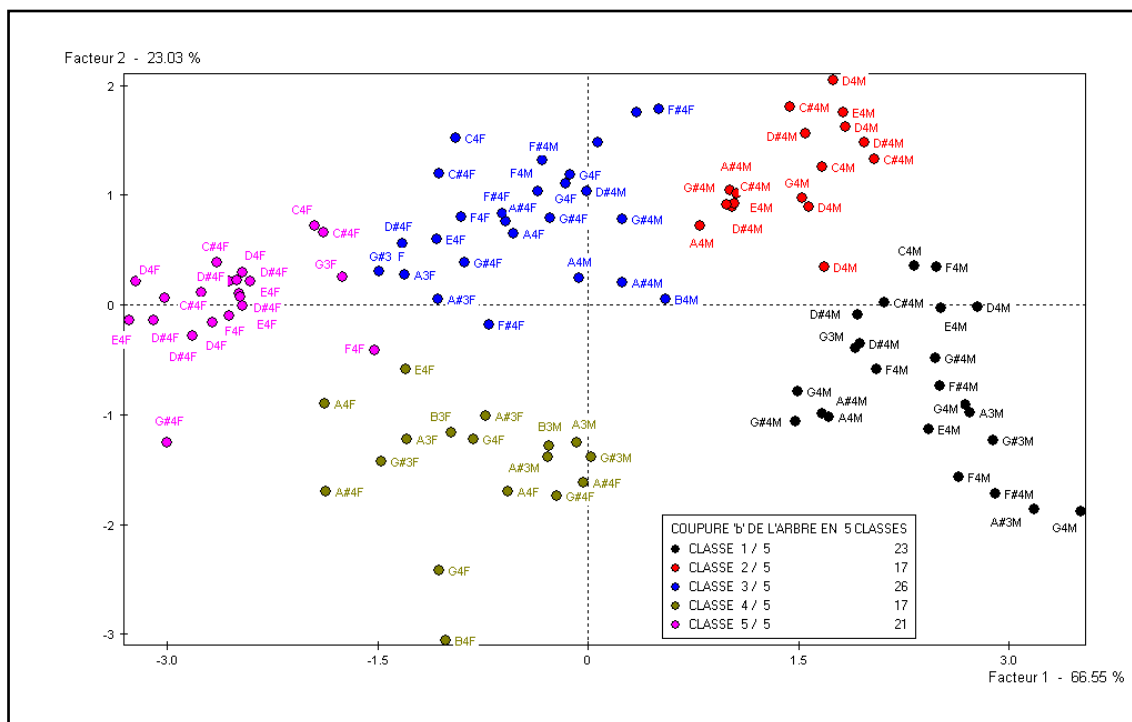


Figura 33: Nuvem de pontos obtida pela Análise de *Cluster*.

A existência de grupos claramente diferenciados poderia ser considerada não surpreendente, se considerarmos que neste estudo estamos justamente analisando modos de produção vocal, a priori, distintos. No entanto, a análise de cluster mostrou não apenas dois, mas cinco clusters claramente diferenciados. Além disso, e conforme bem ilustrado na Figura 33, o cluster que apresentou maior número de elementos, o de número três (cor azul), compõe uma categoria situada justamente em região bastante central no gráfico, mostrando um grupo de emissões com características acústicas que mantêm distância semelhante às características das emissões que compõem tanto o cluster de número um (cor preta) como o de número dois (cor rosa), estes situados em extremos no gráfico.

Também situado em região relativamente central no gráfico encontra-se o cluster quatro (cor vermelha), com número menor de elementos, mas ainda assim composto por dezessete das cento e quatro emissões analisadas.

Somados, os elementos que compõem os clusters três e quatro alcançam um total de quarenta e três emissões. Ou seja, 41% das emissões analisadas apresentam, hipoteticamente, características acústicas que em última instância poderiam estar associadas tanto a um como a outro registro. E, de fato, os clusters três e quatro são os únicos, dentre os cinco clusters, que apresentam emissões produzidas tanto no registro modal como no registro de falsete.

A investigação das características acústicas dos elementos que compõem os dois clusters mais distantes e mais distintos no gráfico, os clusters um e cinco, forneceu referências para a compreensão das características das emissões compõem estes outros dois clusters mais centrais, os de número três e quatro.

Primeiramente, convém verificar que a soma dos fatores que compõem o eixo 1 e o eixo 2 do gráfico explica 89,58% da variação dos elementos analisados e que, do ponto de vista acústico, os elementos situados mais à direita no gráfico correspondem aos que apresentam maior concentração das características associadas ao registro modal, e os elementos situados mais à esquerda no gráfico correspondem aos que apresentam maior concentração das características associadas ao registro de falsete.

Sendo assim, o cluster um, tipicamente modal em suas características acústicas, é composto por emissões cujas médias dos valores de Quociente

Fechado, de Velocidade Máxima de Declínio do Fluxo de Ar e de Amplitude CA mais se distanciam das médias encontradas para estes mesmos parâmetros quando todas as emissões são consideradas. No caso, as médias dos valores encontrados para estes três parâmetros são significativamente maiores do que as encontradas quando a média de todas as emissões é considerada. Além disso, existe neste cluster grande concentração de emissões que manifestam estas características. Em paralelo, as médias dos valores de H1-H2 e do Quociente da Amplitude Normalizada são significativamente menores neste cluster do que as médias obtidas quando todas as emissões são consideradas.

Ou seja, o cluster um, tipicamente modal, apresenta grande concentração de emissões que combinam valores elevados de Quociente Fechado, de Velocidade Máxima de Declínio do Fluxo de Ar e de Amplitude CA, com valores reduzidos de H1-H2 e de Quociente da Amplitude Normalizada.

O cluster cinco, por sua vez, tipicamente de falsete em suas características acústicas, é composto por emissões cujas médias dos valores de Quociente Fechado, de Velocidade Máxima de Declínio do Fluxo de Ar e de Amplitude CA são significativamente menores do que as médias obtidas quando todas as emissões são consideradas. Em paralelo, as médias dos valores de H1-H2 e do Quociente da Amplitude Normalizada são significativamente maiores neste cluster do que as médias obtidas quando todas as emissões são consideradas. Em particular a média dos valores de Quociente da Amplitude Normalizada neste cluster é a que mais se distancia da média encontrada para este quociente quando todas as emissões são consideradas, sendo a primeira significativamente maior do que a segunda.

Este cluster destaca-se também pela grande concentração de emissões que combinam valores elevados de H1-H2 e de Quociente da Amplitude Normalizada.

Ou seja, o cluster cinco, tipicamente de falsete, apresenta grande concentração de emissões que combinam valores reduzidos de Quociente Fechado, de Velocidade Máxima de Declínio do Fluxo de Ar e de Amplitude CA, com valores elevados de H1-H2 e de Quociente da Amplitude Normalizada.

Tais valores podem ser visualizados na Tabela 5, que mostra também os valores que quantificam as características acústicas dos demais clusters então delineados. A tabela mostra em termos de valores numéricos o que é possível visualizar com bastante clareza na nuvem de pontos apresentada, ou seja, que, de um modo geral, uma verdadeira gradação sonora conecta o cluster um, tipicamente modal, e o cluster cinco, tipicamente de falsete.

Tabela 5: Médias obtidas na Análise de *Cluster* para cada parâmetro em cada um dos cinco clusters.

	Médias					
	Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Total
Quociente Fechado	0,53	0,54	0,35	0,26	0,22	0,38
Velocidade do Declínio	1,48	0,64	0,54	1,42	0,40	0,88
Amplitude da Corrente	0,14	0,07	0,04	0,06	0,01	0,06
H1-H2	6,23	5,00	14,53	20,02	26,80	14,51
Quociente da Amplitude	0,13	0,10	0,17	0,27	0,30	0,19

Deste modo, é possível visualizar uma diminuição gradativa dos valores do Quociente Fechado, da Velocidade Máxima de Declínio do Fluxo de Ar e da Amplitude CA paralelamente a um aumento dos valores de H1-H2 e de Quociente da Amplitude Normalizada na medida em que as emissões do “cluster modal” caminham em direção às emissões do “cluster falsete”, e vice-versa.

Essa gradação apresenta-se bastante evidente quando se consideram os valores encontrados em quatro dos cinco parâmetros – a exceção é feita ao parâmetro Velocidade do Declínio Máximo do Fluxo do Ar, a ser considerado a seguir – principalmente quando se trata do Quociente Fechado, mas também quando se trata de H1-H2 e do Quociente da Amplitude Normalizada.

Para buscar entender por que os valores da Velocidade do Declínio Máximo do Fluxo do Ar não acompanharam a gradação estabelecida por todos os demais parâmetros, voltamos temporariamente o foco de nossa atenção para uma análise intra-grupo. Nesta observação verificamos que independentemente do cluster considerado, os valores encontrados em cada um deles reflete de qualquer modo a correlação previamente detectada entre os diferentes parâmetros acústicos, principalmente quando se trata das correlações estabelecidas entre H1-H2, Quociente Fechado, Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar e Quociente da Amplitude Normalizada, quais sejam: maiores valores de H1 – H2 e de Quociente da Amplitude Normalizada associados a menores valores de Quociente Fechado e de Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar, e vice-versa.

O cluster quatro, contudo, surpreendeu por detectar emissões que combinaram valores relativamente baixos de Quociente Fechado – associados a valores altos de H1-H2 e de Quociente da Amplitude Normalizada, como esperado – com valores consideravelmente altos de Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar. Em particular, o valor médio da Amplitude CA nesse cluster coincidiu com o valor médio de todas as emissões analisadas, e, poderia de qualquer modo ser considerado compatível com os valores encontrados para os demais parâmetros nesse cluster, visto a sua fraca correlação com todos eles.

A relação estabelecida entre parâmetros acústicos nesse cluster quatro, composto por emissões principalmente no registro de falsete, mas também por emissões no registro modal produzidas por um cantor específico, nos faz imaginar uma situação em que pregas vocais não firmemente aduzidas

estabelecem ciclos glóticos com fases fechadas relativamente pequenas e, e ainda assim, com grande velocidade de fluxo de ar transglottal durante fechamento das pregas vocais.

Novamente, estudos que considerassem as possíveis relações entre a pressão subglótica e as características do fluxo aéreo transglotal poderiam sugerir possíveis justificativas para o modo como os diferentes parâmetros apareceram relacionados no cluster quatro. Além disso, não pode ser descartada a possibilidade de que ajustes supraglóticos tenham de alguma forma contribuído na determinação das características das emissões encontradas neste cluster.

Finalmente analisamos como as emissões que compuseram os diferentes clusters foram percebidas pelos ouvintes juízes. A Figura 34 mostra, em porcentagem, os números de votos para o registro modal para as emissões de cada um dos clusters obtidos.

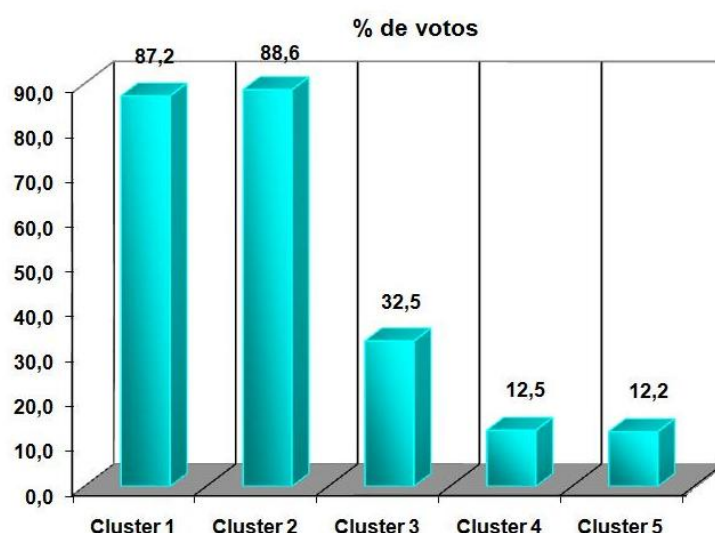


Figura 34: Números de votos para o registro modal para as emissões de cada um dos clusters obtidos.

As emissões dos clusters um e dois foram sistematicamente percebidas como emissões produzidas no registro modal. Muito interessante mais uma vez notar a importância dos parâmetros Quociente Fechado, Quociente da Amplitude Normalizada e H1-H2 na percepção da categoria da qualidade da voz. Dentro da gradação acústica, os valores desses parâmetros nesses dois clusters mantiveram-se bastante próximos e não chegaram a resultar em alteração na categorização do som percebido.

O mesmo não aconteceu, contudo, com os valores da Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar e da Amplitude CA, que foram reduzidos em sua metade (no caso da Amplitude CA) ou até mesmo em mais do que a sua metade (no caso da Velocidade Máxima de Declínio do Fluxo do Ar). Mesmo com alterações tão acentuadas, esses parâmetros não resultaram em qualquer mudança significativa na categorização das emissões desses dois clusters.

As emissões dos clusters quatro e cinco, de outra parte, foram sistematicamente percebidas como emissões produzidas no registro de falsete. Novamente se destaca a importância dos parâmetros Quociente Fechado, Quociente da Amplitude Normalizada e H1-H2 na determinação da percepção deste registro, bastante distantes da média e, mais uma vez, a influência dos parâmetros Velocidade Máxima do Declínio de Fluxo do Ar e Amplitude CA na percepção deste registro apareceram muito reduzidas. Sendo assim, nem o valor de Amplitude CA, exatamente igual ao da média, e nem mesmo o valor da Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar, de praticamente o dobro em do valor da média, encontrados no cluster quatro, o valor da Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar neste cluster, aliás, muito próximo do valor

encontrado no cluster tipicamente modal, interferiram na percepção da categoria de qualidade de voz à qual as emissões deste cluster pertenciam.

Quanto às emissões do cluster três, no centro da gradação e com valores muito próximos aos da média ou, de fato, com valores em sua grande maioria inferiores aos da média, tenderam a ser percebidas como tendo sido produzidas no registro de falsete.

Para finalizar, gostaríamos de especular sobre as possíveis influências do *design* do teste perceptivo utilizado nesta avaliação nas respostas fornecidas pelos juízes, por terem os mesmos necessariamente que optar entre uma ou outra categoria da qualidade da voz. Algo em torno de 20% dos estímulos gerou respostas bastante divididas da parte dos juízes, os quais não reconheceram claramente os estímulos ouvidos nem como tendo sido produzidos no registro modal, e nem como tendo sido produzidos no registro de falsete.

Essa constatação nos faz supor que avaliações perceptivas que fizessem uso protocolos com escalas contínuas e multidimensionais possivelmente possam permitir ao ouvinte estabelecer estratégias próprias de percepção e de categorização, e assim as conexões entre medidas objetivas e a percepção subjetiva poderiam aparecer ainda mais nítidas.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A percepção ocupa papel de grande relevância na identificação e na própria definição dos registros vocais. Ainda assim, grande parte dos estudos relacionados aos registros vocais está voltada, principalmente, para a investigação dos aspectos da produção da voz.

É, entretanto, por meio da investigação da relação entre os aspectos de produção e de percepção que possivelmente alcançaremos uma melhor compreensão da essência do fenômeno dos registros da voz.

Nosso estudo está voltado justamente para a investigação dessas relações e traz contribuições quanto ao modo como os aspectos acústicos, fisiológicos e aerodinâmicos interagem na diferenciação perceptiva dos registros vocais.

Do ponto de vista da produção, este estudo mostrou diferenças sistemáticas na fonte glótica de emissões produzidas no registro modal e registro de falsete, que puderam ser devidamente associadas aos parâmetros de Quociente Fechado, H1-H2 e Quociente Amplitude Normalizada, principalmente.

Sendo assim, se comparado ao registro de falsete, o registro modal apresentou:

- Maiores valores de Quociente Fechado;
- Fundamental menos intensa no espectro glótico; e

- Valores menores de Quociente da Amplitude Normalizada.

A correlação entre estes três parâmetros apresentou-se bastante forte, sugerindo que é pela interação entre eles que as características dos ajustes laríngeos utilizados na produção de um ou de outro registro da voz são manifestas.

A análise da relevância de parâmetros acústicos para a percepção dos registros modal e de falsete mostrou que:

1. Tons com valores maiores de Quociente Fechado, e valores menores de $H1 - H2$ e do Quociente da Amplitude Normalizada foram associados com número maior de votos para o registro modal, e vice-versa;

2. O Quociente da Amplitude Normalizada, que expressa a razão entre a Amplitude da Onda e a Velocidade Máxima do Declínio do Fluxo de Ar, foi o parâmetro que apresentou correlação mais forte com os resultados do teste perceptivo.

Finalmente, os resultados da Análise de *Cluster* realizada fortaleceram a idéia de que existe uma gradação sonora na dimensão das manifestações acústicas relacionadas aos registros vocais, e que suas respectivas características apresentam-se tanto mais diferenciadas quanto mais distanciadas estiverem na dimensão desse contínuo.

Para caminharmos no sentido de aprofundar a compreensão das relações entre aspectos perceptivos, acústicos, aerodinâmicos e fisiológicos da fonte glótica nos registros vocais, futuros estudos são vislumbrados e incluirão análises qualitativas das relações entre as formas de eletroglotografia e as

formas de onda do fluxo aéreo glotal e das relações entre estas formas e as variações decorrentes da pressão subglótica ou dos efeitos de ressonância supraglóticos, bem como análises das interações entre estes parâmetros e o Quociente da Amplitude Normalizada como parâmetro que reflete o grau de adução glótica. Também a utilização de protocolos de avaliação perceptiva que incluam escalas multidimensionais deverá ser explorada em investigações futuras sobre as relações entre medidas objetivas de produção e estratégias subjetivas de percepção.

Uma linha de pesquisa que adote tais perspectivas de análise se apresenta relevante não apenas para o estudo e o detalhamento das relações entre produção e percepção nos registros vocais, mas também para investigações que busquem compreender como as diferentes qualidades de voz associadas aos diferentes ajustes fonatórios utilizados no canto ou na fala expressivos impressionam os ouvintes.

Musicistas freqüentemente se deparam com a questão de se a análise científica da voz pode, além de produzir conhecimentos teóricos, trazer soluções práticas que possam ser utilizadas no processo de construção da expressividade musical.

A criação de práticas efetivas e cientificamente embasadas voltadas aos profissionais da voz e do canto em particular constitui desafio a todos os que transitam entre o contexto da ciência e o contexto das artes, e que assim constantemente se deparam com linguagens em sua natureza tão distintas.

A História tem mostrado que arte e ciência evoluem conjuntamente, numa espécie de relação simbiótica com implicações mútuas e complementares. Na voz cantada esta relação não há de ser diferente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERCROMBIE, D. (1967) *Elements of General Phonetics*. Edinburgh: Edinburgh University Press.

ALKU, P. & VILKMAN, E. (1996) Amplitude domain quotient for characterization of the glottal volume velocity waveform estimated by inverse filtering. *Speech Communication* 18(2), 131-138.

_____. (2002) Normalized amplitude quotient for parameterization of the glottal flow. *J Acoustic Soc Am* 112(2), 701-710.

ALKU, P., AIRAS, M., BJÖRKNER, E. & SUNDBERG, J. (2006) An amplitude quotient based method to analyze changes in the shape of the glottal pulse in the regulation of vocal intensity. *J Acoustic Soc Am* 120(2), 1052-1062.

ANASTATAPLO, S. & KARNELL, M.P. (1988). Synchronized videostroboscopic and electroglottographic examination of glottal opening. *J Acoustic Soc Am*. 83, 1883-1890.

ARONSON, A.E. (1994) *Clinical voice disorders: an interdisciplinary approach*. (2ed). New York: Thieme Verlag.

BÄCKSTÖM, T., ALKU, P. & VILKMAN, E. (2002) Time-domain parameterization of the closing phase of glottal airflow waveform from voices over a large intensity range. *IEEE trans. speech audio process*. 10(3), 186-192.

BERG, J.W. VAN DEN. (1968) Mechanisms of the larynx and the laryngeal vibrations. In: *Malberg, B. Manual of Phonetics*. Amsterdam: North Holland Publishing Company. 278-308.

BLOMGREN, M. & CHEN, Y. (1998) Acoustic, aerodynamic, physiologic and perceptual properties of modal and vocal fry registers. *J Acoustic Soc Am*. 103 (5), 2649-265.

CHILDERS D.G., NAIK, J.M., LARAR, J.N., KRISHNAMURTH, A.K., MOORE, G.P. (1983). Electroglottography, speech and ultra-high speed cinematography. In: *Vocal Fold Physiology and Biophysics of Voice*. Titze and R. Scherer (eds). Denver: Denver Center for the Performing Arts. 202-220.

CHILDERS D.G. & KRISHNAMURTH, A.K. (1985) A critical review of electroglottography. *CRC Crit Rev Biomed Eng*. 12, 131-161.

CHILDERS D.G., HICKS, D. M., MOORE, G.P., & ALSAKA, Y.A. (1986). A model for vocal fold vibratory motion, contact area, and the electroglottogram. *J Acoustic Soc Am*. 80, 1309-1320.

CHILDERS D.G. & LEE C.K. (1991) Vocal quality factors: Analysis, synthesis, and perception. *J Acous Soc Am*. 90 (3), 2394-2410.

CHOI, H.S., YE, M. & BERK, G.S. (1995) Function of the interarytenoid (IA) muscle in phonation: in vivo laryngeal model. *Yonsei Medical Journal*. 36 (1), 58-67.

COLTON, R.H. (1972) Spectral Characteristics of the Modal and Falsetto Registers. *Folia Phoniatr*. 24, 337-344.

_____. (1973) Some Acoustic Parameters Related to the Perception of Modal-Falsetto Voice Quality. *Folia Phoniatr.* 25, 302–311.

COLTON, R.H. & HOLLIEN, H. (1973) Perceptual differentiation of the modal and falsetto register. *Folia Phoniatr.* 25, 281–287.

COOPER, D.S. (1988) The laryngeal mucosa in voice production. *Ear, Nose and Throat Journal.* 67, 332-46.

DICKSON, D.R. & MAUÉ-DICKSON, W. (1982) Anatomical and physiological bases of speech. Boston: Little, Brown & Co. 136-66.

DROMEY, C., STATHOPOULOS, E.T. & SAPIENZA, C.M. (1992) Glottal airflow and electroglottographic measures of vocal function at multiple intensities. *J Voice.* 6, 44-54.

DUEY, P. (1951) *Bel Canto in its golden age*. New York: King's Crown Press. 112-125.

FABRE, M.P. (1957) Un procédé électrique percutané d'inscription de l'accolement glottique au cours de la phonation: glottographie de haute fréquence. Premier résultats. *Acad Natl Med.* 29, 6-9.

_____. (1959) La glottographie en haute fréquence, particularités de l'appareillage. *Comptes Rendus des Séances de la Société de Biologie et de ses Filiales.* 1361-1364.

_____. (1961) Glottographie respiratoire. *Ann Oto Lar.* 78: 814-824.

FANT, G. (1960) *Acoustic Theory of Speech Production*. The Netherlands: Mouton and Co.

FANT, G. & SONESSON, B. (1962) Indirect studies of glottal cycles by synchronous inverse filtering and photo-electrical glottography. *Speech Transmission Laboratory Quartely Progress and Status Report*. 4, 1-3.

FANT, G. (1979) Glottal source and excitation analysis. *Speech transmission Laboratory Quartely Progress and Status Report*. 1, 85-107.

FANT, G., LILJENCRAANS, J. & LIN, Q. (1985) A four-parameter model of glottal flow. *Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress Report*. 4(85), 1-13.

FANT, G. & LIN, Q. (1988) Frequency domain interpretation and derivation of glottal flow parameters. *Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress Report*. 2-3(85), 1-21.

FANT, G., KRUCKENBERG, A., LILJENCRAANTS, J. & BÅVEGÅRD, M. (1994) Voice source parameters in continuous speech. Transformation of LF parameters. In: *Proceedings of the International Conference on Spoken Language Processing*. Yokohama. 1451-1454.

FANT, G. (1997) The voice source in connected speech. *Speech Comm*. 22, 125-139.

FOURCIN A.J. & ALBERTON E. (1972) First application of a new laryngograph. *Volta Review*. 69: 507-518.

FOURCIN A.J. (1974) Laryngographic examination of vocal fold vibration. In: *Ventilatory and Phonatory Function*. B. Weky (ed). London: Oxford University Press. 315-326.

FOURCIN, A.J. (1981) Laryngographic assessment of phonatory function. *ASHA*. 11, 116-124.

GARCIA, M. (1847) *Mémoire sur la voix humaine présenté à l'Académie des Sciences en 1840*. Paris: Duverger.

GAUFFIN, J. & SUNDBERG J. (1980) Spectral correlates of glottal voice source waveform characteristics. *Journal of Speech and Hearing Research*. 32, 556-565.

GAUFFIN, J. & SUNDBERG J (1989) Data on the glottal voice source behavior in vowel production. *Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report*. 61-70.

HAMMARBERG, B., FRITZELL, B., GAUFFIN, J., SUNDBERG, J. & WEDIN, L. (1980) Perceptual and acoustics correlates of abnormal voice qualities. *Acta Otolaryngol*. 90 (5-6), 441-451.

HANSON, H.M. & STEVENS, K.N. (1995) Subglottal resonances in female speakers and their effect on vowel spectra. *Proc. XIIIth International Congress of Phonetic Sciences*. Stockholm, Sweden. 3, 182-185.

HANSON, H.M. (1997) Glottal characteristics of female speakers: acoustic correlates. *J Acoustic Soc Am*. 101, 466-481.

HENRICH, N., ROUBEAU, B, CASTELLENGO, M. (2003) On the use of electroglottography for characterisation of the laryngeal mechanisms. *Proceedings of the Stockholm Music Acoustic Conference*. Stockholm, Sweden.

HENRICH, N., D'ALESSANDRO, C., CASTELLENGO, M. & DOVAL B. (2004)
On the use of the derivative of electroglottographic signals for characterization of
no pathological phonation. *J Acoustic Soc Am.* 115 (3), 1321-1332.

_____. (2005) Glottal open quotient in singing: measurements and correlation
with laryngeal mechanisms, vocal intensity, and fundamental frequency. *J
Acoustic Soc Am.* 117 (3), 1417-1430.

HILLMAN, R., HOLBERG, E., PERKELL, J., WALSH, M. & VAUGHAN C.
(1990) Objective assessment of vocal hyperfunctionally related vocal fold
lesions. *J Voice.* 4, 52-63.

HIRANO, M., VENNARD, W. & OHALA, J. (1970) Regulation of register, pitch,
and intensity of voice: An electromyographic investigation of intrinsic laryngeal
muscles. *Folia Phoniatr.* 22, 1-20.

_____. (1974) Morphological structure of the vocal cord as a vibrator and its
variations. *Folia Phoniatr.* 26, 89-94.

_____. (1981) The function of the intrinsic laryngeal muscles in singing. In:
Stevens K, Hirano M (eds). *Vocal fold physiology.* Tokyo, Japan: University of
Tokyo Press. 155-70.

_____. (1983) The structure of the vocal folds. In: Stevens K, Hirano M (eds).
Vocal Fold Physiology. Tokyo, Japan: University of Tokyo Press. 33-43.

_____. (1988) Vocal Mechanisms in Singing: Laryngological and Phoniatriac
Aspects. *J Voice.* 2(1), 51-69

_____. (1993) *Histological Color Atlas of the Human Larynx*. San Diego: Singular.

_____. (1996) Laryngeal histopathology. In: Colton R, Casper J. (2ed). *Understanding Voice problems, A Physiological Perspective for the Diagnosis and Treatment*. Baltimore: Williams & Wilkins.

HIROTO, I. Introductory Remarks. In: Stevens K. N., Hirano M. *Vocal Fold Physiology*. Tokyo: University of Tokyo Press. 3-9.

HOLLIEN, H. (1960) Vocal pitch variation related to changes in vocal fold length. *Journal of Speech and Hearing Research*. 3, 150-156.

HOLLIEN, H. & MOORE, P. (1960). A laminagraphic study of vocal pitch. *Journal of Speech and Hearing Research*. 3, 157-165.

HOLLIEN, H. (1962) Vocal fold thickness and fundamental frequency of phonation. *Journal of Speech and Hearing Research*. 5, 237-243.

HOLLIEN, H (1968) Vocal fry as a phonational register. *Journal of Speech and Hearing Research*. 11, 600-604.

HOLLIEN, H. & WENDAHL, R.W. (1968) A perceptual study of vocal fry. *J Acoustic Soc Am*. 43, 506–509.

HOLLIEN, H. & COLEMAN R.F. (1970). Laryngeal correlates of frequency change: A STROL study. *Journal of Speech and Hearing Research*. 13, 272-278.

HOLLIEN, H., BROWN, W.S. & HOLLIEN, K. (1971). Vocal length associated with modal, falsetto and varying vocal intensity phonations. *Folia Phoniatr.* 23, 66-78.

HOLLIEN, H. (1974) On vocal registers. *J Phonetics.* 2, 125–143.

HOLLIEN, H. (1985) Report on vocal registers. *Proceedings of the Stockholm Music Acoustic Conference SMAC83*. Royal Swedish Academy of Music, SMAC83 (vol.1). 46, 1.

HOLMBERG, E.B., HILLMAN, R. & PERKELL, J.S. (1988) Glottal airflow and transglottal pressure measurements for male and female speakers in soft, normal, and loud voice. *J Acoustic Soc Am.* 84, 511-529.

HOLMBERG, E.B., HILLMAN, R., PERKELL, J.S., GUIOD, P. & GOLDMAN S. (1995) Comparisons among aerodynamic, electroglottographic, and acoustic spectral measures of female voice. *J Speech Hear Res.* 38, 1212-1223.

HONG, K.H., YE, M., KIM, Y.M., KEVORKIAN, K.F. & BERKE, G.S. (2001) The role of strap muscles in phonation-in-vivo canine laryngeal model. *J Voice.* 15 (4):512-8.

HONIKMAN, B. (1964) Articulatory Settings. In: D. Abercombie et al. (eds). *In Honour of Daniel Jones*. London: Longmans.

HUTTENLOCHER, P.R. Synaptogenesis in human cerebral cortex. In: G Dawson & K W Fischer (Eds.), *Human Behavior and the Developing Brain*. New York: Guilford. 137-152.

KARNELL, M.P. (1989) Synchronized videostroboscopy and electroglottography. *J Voice*. 3, 68-75.

KEIDAR, A. (1986) Vocal register change: An investigation of perceptual and acoustic isomorphism. *Ph.D.dissertation*. University of Iowa, Iowa City.

KEIDAR, A., HURTIG, R. & TITZE, I. (1987) The perceptual nature of vocal register change. *J Voice* 1(3), 223-233.

KENT, R.D. & READ, C. (1992) Acoustical Theory of Speech Production. In: *The Acoustic Analysis of Speech*. 13-40.

KLATT & KLATT L.C. (1990) Analysis, synthesis, and perception of voice quality variations among females and male talkers. *J Acoustic Soc Am*. 87, 820–857.

KITZING, P. (1982) Photo- and electroglottographical recording of the laryngeal vibratory pattern during different registers. *Folia Phoniatr*, 34: 234-241.

KITZING P, CARLBORG B, LÖFQVIST, A. (1982). Aerodynamic and glottographic studies of the laryngeal vibratory cycle. *Folia Phoniatr*. 34, 216-224.

LARGE, J.W. (1968) An acoustical study of isoparametric tones in the female chest and middle registers in singing. *The NATS Bulletin*. 12-15.

_____. (1972a) Towards an integrated physiologic-acoustic theory of vocal registers. *The NATS Bulletin*. 29, 18–40.

_____. (1972b) The Male Operatic Head Register versus Falsetto. *Folia Phoniatr*. 24, 19–29.

LARGE, J.W., IWATA, S. & VON LEDEN, H. The primary female register transition in singing. *Folia Phoniatr.* 22, 385-396.

LARGE, J.W. & SHIPP, T. (1970) Perceptual studies of female chest and middle registers in singing. *J Acoust Soc Am.* 47.

LAVER, J. (1968) Voice quality and indexical information. *British Journal of Disorders of Communication.* 3, 43-54.

LERMAN, J. & DUFFY, R. (1970) Recognition of falsetto voice quality. *Folia Phoniatr.* 22, 21-27.

LECLUSE, F.L.E., BROCAAR, M.P., & VERSCHUURE, J. (1975). The electroglottography and its relation to glottal activity. *Folia Phoniatr.* 27, 215-224.

LECLUSE, F.L.E., BROCAAR, M.P. (1977). Quantitative measurements in the electroglottogram. *17th International Congress of Logopedics and Phoniatrics.*

LINDESTAD, P. (1994) Eletromyographic and laryngoscopic studies of normal and disturbed voice function. *Studies in Logopedics and Phoniatrics no.4.* Department of Logopedics and Phoniatrics and the Department of Clinical Neurophysiology. Stockholm: Huddinge University Hospital. 1-48.

LINDBLOM, B & SUNDBERG, J. (2007) The human voice in speech and singing. In: Rossing, T (ed) *Springer Handbook of Acoustics.* Stockholm: Springer Verlag. 665-708.

LINDQVIST, (GAUFFIN) J. (1965) Inverse filtering. Instrumentation and techniques. *Speech Transmission Laboratory Quartely Progress and Status Report.* 2, 8-14.

MILLER, R.L. (1957) Nature of the vocal cord wave. *J Acoustic Soc Am.* 31, 667-677.

MILLER, D.G. & SCHUTTE, H.K. (1994) Toward a Definition of Male 'Head' Register, Passagio, and 'Cover' in Western Operatic Singing. *Folia Phoniatr.* 46, 157–170.

MILLER, D.G. (2000) *Registers in Singing: Empirical and Systematic Studies in the Theory of the Singing Voice*. Groningen: University of Groningen.

MÖRNER, M., FRANSSON, F. & FANT, G. (1964) Voice register terminology and standard pitch. *Speech Transmission Laboratory Quarterly Progress and Status Report.* 4, 17-23.

NASRI, S., KREIMAN, J., BEIZAI, P., GRAVES, M.C., SERCARZ, JÁ. & BERKE, GS. (1994) Function of the interarytenoid muscle in canine laryngeal model. *Ann Otol Rhynol Laryngol.* 103,975-982.

NETTER, F.H. (1999) *Atlas de Anatomia Humana*. New Jersey: East Hanover.

PEDERSEN, M.F. (1977) Electroglottography compared with synchronized stroboscopy in normal persons. *Folia Phoniatr.* 29, 191-199.

ROUBEAU (1993) Mécanismes vibratoires laryngés et controle neuromusculaire de la fréquence fondamentale. *PhD dissertation*. Orsay: Université Paris XI.

ROTHEMBERG, M (1981). Some relations between glottal air flow and vocal fold contact area. *ASHA.* 11, 88-96.

ROTHEMBERG, M & MAHSHIE J.J. (1988). Monitoring vocal fold abduction through vocal fold contact area. *J Speech Hear Res.* 31, 338-351.

RUBIN, H.J. & HIRT, C.C. (1960) The falsetto. A high speed cinematographic study. *Laryngoscope.* 70, 1305-1324.

SALOMÃO, G.L. & SUNDBERG, J. (2008) Relation between perceived voice register and flow glottogram parameters in males. *J Acoustic Soc Am.* 1, 546-551.

SANDERS, I., RAI, F. & BILLER, H. (1994) Arytenoid motion evoked by regional electrical stimulation of the canine posterior cricoarytenoid muscle. *Laryngoscope.* 104, 456-462.

SANDERS, I., RAI, F., HAN, Y. & BILLER H. (1998) Human vocalis contains distinct superior and inferior subcompartments: possible candidates for the two masses of vocal fold vibration. *Ann Otol Rhinol Laryngol* . 107, 826-833.

SCHERER, K.R. (1991) Emotion expression in speech and music. In: J. Sundberg, L. Nord, & R. Carlson (Eds). *Music, Language, Speech, and Brain.* London: MacMillan.

SCHERER, R.C., DRUKER, D.G. & TITZE. I.R. (1988) Electroglottography and Direct Measurement of Vocal Fold Contact Area. *Vocal Physiology: Voice Production, Mechanisms and Functions.* New York: Raven Press.

SCHUTTE, H. & MILLER, D. (1994) Belting and pop, non classical approaches to the female middle voice: some preliminary considerations. *J Voice.* 7 (2), 142-150.

SMITH, S. (1954) Remarks on the physiology of the vibrations of the vocal folds. *Folia Phoniatr.* 6, 166-178.

_____. (1956) Chest register versus head register in membrane cushion model of the vocal folds. *Folia Phoniatr.* 9, 32-36.

SONESSON, B. (1960) On the anatomy and vibratory pattern of the human vocal folds. With special reference to a photo-electrical method for studying the vibratory movements. *Acta Otolaryngol suppl.* 156, 1–80.

STARK, J. (2003) Registers: some tough breaks. In: *Bel canto A History of Vocal Pedagogy*. Toronto: University of Toronto Press. 57-90.

STATHOPOULOS, E.T. & SAPIENZA, C.M. (1993) Respiratory and laryngeal function of women and men during intensity variation. *J Speech Hear Res.* 36, 64-75.

STRONG, M.S. & VAUGHAN, C.W. (1981) The morphology of the phonatory organs and their neural control. In: K.N. Stevens & M. Hirano (Eds.), *Vocal Fold Physiology*. Tokyo: University of Tokyo Press. 13-22.

SULTER, A. & SCHUTTE, H. (1991) Glottal flow parameters in speech modes. *ASHA.* 33,168.

SULTER, A.M. (1996) The clinical relevance of the relation between Maximum Flow Declination Rate and Sound Pressure Level in predicting vocal fatigue. *Ph.D. dissertation*. Groningen University. 63-72.

SUNDBERG, J. (1973) The Source Spectrum in Professional Singing. *Folia Phoniatr.* 25, 71–90.

SUNDBERG, J (1979) Waveform and spectrum of the glottal voice source. In: *Frontiers of speech communication research*. Gunnar Fant, B. Lindblom and S Öhman (eds). London Academy Press. 301-320.

SUNDBERG, J. (1994) Perceptual Aspects of Singing. *J Voice*. 7, 106-122.

_____. (1987) The voice source. In: *The Science of the Singing Voice*. Illinois: Northern Illinois University Press. 49-92.

SUNDBERG, J., TITZE, I.R. & SCHERER, R.C. (1993) Phonatory control in male singing: a study of the effects of subglottal pressure, fundamental frequency, and mode of phonation on the voice source. *J Voice*. 7, 15-29.

SUNDBERG, J. & KULLBERG, Å. (1998) Voice source studies of register differences in untrained female voices. *Log Phon Vocol*. 24, 76-83.

SUNDBERG, J, ANDERSON, M. & HULTQVIST, C. (1999) Effects of subglottal pressure variation on professional baritone singers' voice sources. *J Acoustic Soc Am*. 105 (3), 1965-1971.

SUNDBERG, J. & HÖGSET C. (2001) Voice source differences between falsetto and modal registers in counter tenors, tenors and baritones. *Log Phon Vocol*. 26, 26-36.

SVEC J. G. & SCHUTTE H.K. (1996) Videokymography: High-Speed Line Scanning of Vocal Fold Vibration. *J Voice*. 10(2), 201-205

SVEC, J.G., SCHETTE H.K. & MILLER, D.G. (1999) On pitch jumps between chest and falsetto registers in voice: data from living and excised human larynges. *J Acoustic Soc Am*. 106 (3), 1523-1531.

SVEC, J.G., SUNDBERG, J. & HERTEGARD, S. (2008) Chest, head and whistle registers in an untrained female singer analyzed by videokymography, strobolaryngoscopy and sound spectrography. *J Acoust Soc Am.* 2008 (1):347-353.

TEANEY, D., & FOURCIN, A.J. (1980) The electrolaryngography as a clinical tool for the observation and analysis of vocal fold vibration. *The Voice Foundation.*

TITZE, I.R., LUSCHEI, E.S. & HIRANO, M. (1989) The role of thyroarytenoid muscle in the regulation of fundamental frequency. *J Voice.* 3, 213-224.

_____. (1973) The human vocal cords: a mathematical model. Part 1. *Phonetica.* 28, 129-170.

_____, (1974) The human vocal cords: a mathematical model. Part 2. *Phonetica.* 29, 1-21.

_____, (1984) Influences of subglotal resonance on the primary register transition. *Proceedings from the Stockholm Musical Acoustic Conference*, Royal Swedish Academy of Music, SMAC83 (vol.1), 46(2), 61-72.

_____, (1988) A framework for the study of vocal registers *J Voice.* 2(3), 183-194.

TITZE, I.R. (1989) Physiologic and acoustic differences between male and female voices. *J Acoustic Soc Am.* 85, 1699-1707.

_____. (1993) Current topics in voice production mechanisms. *Acta Otolaryngol (Stockh).* 113, 421-427.

_____. (1994) Vocal Registers. In: *Principles of Voice Production*. New Jersey: Prentice Hall. 252-278.

VALLENCIEN, B. & FAULHABER, J. (1967) Lo que debe pensarse de la glotografia. *Acta Otolaryngol Iber Amer*. 18, 373-378.

VAN DEN BERG, J. (1958) Myoelastic-aerodynamic theory of voice production. *J Speech Hear Res*. 1, 227-244.

_____. (1963) Vocal ligaments versus registers. The *NATS Bulletin*. 20, 16-21.

VENNARD, W. (1967) *Singing: The Mechanism and Technique*. New York: Carl Fischer.

VILKMAN, E., ALKU, P. & LAUKKANEN, A.M. (1995) Vocal Collision Mass as a Differentiator between Registers in the Low-Pitch Range. *J Voice*. 9, 66-73.

VON LEDEN, H. (1997) A Cultural History of the Larynx and Voice. In: Satallof RT (2ed). *Professional Voice The Science and Art of Clinical Care*. San Diego: Singular. 7-86.

