

# Projeto Interativo de Antenas com Duplo-Refletores Clássicos Axialmente Simétricos

Tulio Condé Duarte Silva, Marco Antônio de Souza Mayrink e Fernando José da Silva Moreira

Universidade Federal de Minas Gerais – Depto. Engenharia Eletrônica – Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 – Belo Horizonte, MG – CEP 30161-970

**Resumo** – Este trabalho visa a apresentação de um programa de computador desenvolvido para o projeto e a análise de antenas formadas por dois refletores clássicos com simetria axial. O projeto é baseado nos princípios da Ótica Geométrica, através de uma formulação que permite a definição da geometria do sistema refletor de forma interativa. A formulação também fornece o campo da Ótica Geométrica na abertura da antena, possibilitando uma análise aproximada do campo distante radiado através do Método da Abertura. Esta ferramenta permite o projeto inicial da antena de forma amigável e, conseqüentemente, diminui o esforço computacional requerido por projetos baseados em técnicas numéricas mais acuradas.

**Palavras-chaves** – Antenas Refletoras, Ótica Geométrica, Método da Abertura.

## I. INTRODUÇÃO

O projeto de antenas refletoras requer a utilização de ferramentas computacionais para o cálculo de campos. O esforço exigido é proporcional à precisão desejada e às dimensões elétricas do sistema refletor. A utilização de técnicas assintóticas baseadas na Ótica Geométrica (GO) provaram ser de extrema valia na inicialização do projeto destas antenas [1],[2]. Estas características são inerentes a todos os sistemas de antenas refletoras. Porém, neste trabalho iremos focalizar o projeto e a síntese de antenas de duplo-refletores clássicos axialmente simétricos.

Os exemplos mais conhecidos de antenas com duplo-refletores clássicos axialmente simétricos são as configurações Cassegrain e Gregorian [3]. Porém, outras configurações podem ser definidas através de curvas geratrizes cônicas, cujos eixos encontram-se deslocados entre si e não coincidem com o eixo de simetria da antena [4]–[8]. De acordo com os princípios da GO, estas antenas possuem a propriedade de transformar a frente de onda esférica que emana do foco principal (alimentador) do sistema refletor em uma frente de onda planar na abertura da antena, ao mesmo tempo em que a radiação proveniente do refletor principal não incide (de volta) sobre o subrefletor. Com isso, parte da eficiência perdida devido ao bloqueio do subrefletor pode ser recuperada. Além disso, algumas destas famílias possuem uma geometria extremamente compacta (com uma alta eficiência mantida) e podem ser utilizadas em aplicações envolvendo sistemas de comunicação sem fio (por exemplo, *Internet* sem fio).

Tulio Condé Duarte Silva, conde@campus.cce.ufmg.br, Marco Antônio de Souza Mayrink, mayrink@campus.cce.ufmg.br, Fernando José da Silva Moreira, fernando@eee.ufmg.br, Tel. +55-31-499-4861.

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq.

Foi demonstrado que estas configurações de antenas refletoras podem ser caracterizadas em quatro famílias distintas denominadas ADC (*Axially-Displaced Cassegrain*), ADG (*Gregorian*), ADE (*Ellipse*) e ADH (*Hyperbola*) [7],[8]. Foi também desenvolvida uma formulação analítica, generalizada e fechada, para o projeto e para o campo da GO na abertura destas quatro antenas [7],[8]. De acordo com esta formulação, uma determinada configuração fica unicamente estabelecida através de cinco parâmetros geométricos de entrada: o diâmetro do refletor principal ( $D_m$ ), o diâmetro do subrefletor ( $D_s$ ), o diâmetro do bloqueio ( $D_b$ , o qual define a folga entre a borda do subrefletor e os raios provenientes do refletor principal especificando-se  $D_b > D_s$ ), o caminho óptico (constante) que o campo percorre desde o foco principal até a abertura da antena (doravante denominado *percurso*, especificado de tal forma que o foco principal encontra-se no plano da abertura) e o semi-ângulo do cone especificado pelo foco principal e a borda do subrefletor (doravante denominado *ângulo de borda*). É importante notar que as configurações clássicas Cassegrain e Gregorian são casos particulares da ADC e da ADG, respectivamente, onde  $D_b = 0$ . Para o conhecimento completo do campo da GO na abertura, basta definir também o modelo representando a radiação do alimentador (situado no foco principal da antena).

A formulação (generalizada e fechada) citada anteriormente permitiu a criação de um programa de computador para o projeto eficiente de tais antenas. A definição da geometria do sistema refletor pode ser completamente efetuada através de um *mouse*, permitindo um projeto interativo e em ambiente amigável. Esta filosofia já havia sido implementada com extremo sucesso pelo programa RASCAL [9], o qual não aborda as antenas focalizadas neste trabalho. No atual estágio de desenvolvimento, a análise das antenas é efetuada através do Método da Abertura [10], uma vez que a formulação fornece de forma fechada o campo da GO na abertura [7],[8].

Este programa, além de servir como instrumento para projetos envolvendo antenas refletoras, visa o enriquecimento da didática em cursos relacionados com antenas e propagação de ondas de rádio. Ele vem sendo utilizado por alunos de graduação e pós-graduação em Engenharia Elétrica na UFMG.

O projeto e a análise das antenas de duplo-refletores clássicos axialmente simétricos são realizados por intermédio de quatro janelas: uma principal, onde a geometria dos refletores e o modelo do alimentador são especificados pelo usuário (Fig. 1), e três janelas auxiliares, onde as características elétricas do alimentador, do campo na abertura e do diagrama de radiação da antena são apresentadas (Figs. 2, 3 e 4, respecti-

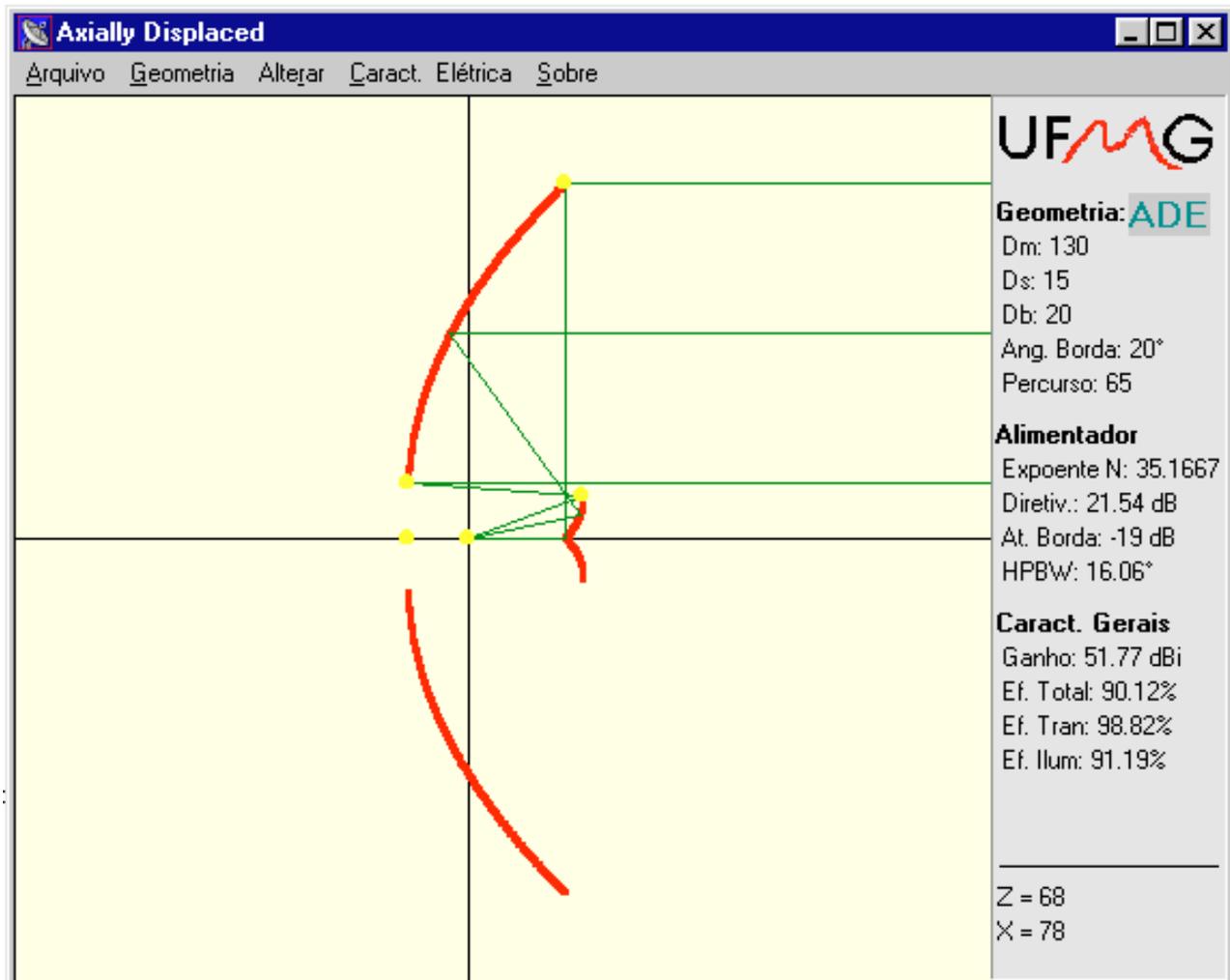


Fig. 1 – Janela principal, apresentando uma configuração ADE.

vamente). As funções de cada janela são descritas nas próximas seções.

## II. DEFINIÇÃO DA ANTENA: JANELA PRINCIPAL

Como mencionado anteriormente, o programa é capaz de projetar e analisar as quatro famílias de antenas com duplo-refletores clássicos axialmente simétricos. Para cada família (ADC, ADG, ADE e ADH), a geometria dos refletores é definida de forma única através dos cinco parâmetros de entrada descritos na Seção I. Estes parâmetros podem ser alterados de forma interativa pelo usuário através do *mouse*. Para isto basta clicar e arrastar um dos cinco pontos associados a cada parâmetro. Com o auxílio da Fig.1, onde é apresentada a geometria do sistema refletor, o ponto que define Dm está localizado no topo da geratriz do refletor principal. Ds é alterado através do ponto situado no topo da geratriz do subrefletor. O bloqueio (Db) é definido pelo ponto inferior da geratriz do refletor principal (acima do eixo de simetria da antena). O *percurso* é especificado pelo ponto “central” do refletor principal (localizado no eixo de simetria). Finalmente,

o *ângulo de borda* é ajustado pelo ponto representando o foco principal do sistema refletor (localizado na origem). Uma vez alterados, os valores (em comprimentos de onda) destes parâmetros são imediatamente apresentados na janela principal (Fig. 1), possibilitando que o usuário acompanhe a definição da geometria de forma clara. Estes parâmetros também podem ser alterados através do teclado, para os ajustes finos necessários.

Para que o campo da GO na abertura seja unicamente especificado, necessita-se também da definição de um modelo que caracterize a radiação do alimentador (sempre localizado no foco principal e iluminando mais intensamente o centro do subrefletor). Optou-se pelo modelo *coseno elevado* [10], já que este caracteriza de forma satisfatória grande parte das cornetas utilizadas na prática. Neste modelo, o alimentador é representado como uma fonte esférica pontual, linearmente polarizada, cujo campo elétrico é definido por

$$\vec{E}(\vec{r}) = \cos^N(\theta) (\cos \phi \hat{\theta} - \sin \phi \hat{\phi}) \frac{e^{-jkr}}{r}, \quad (1)$$

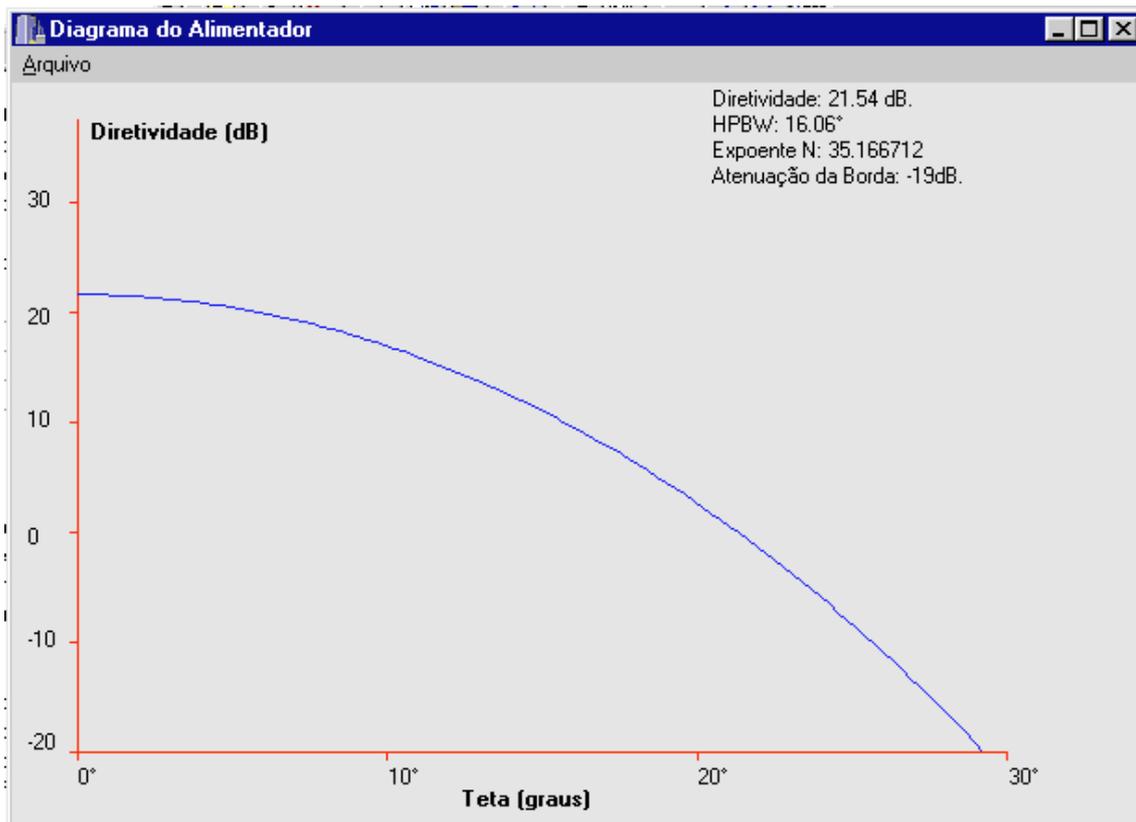


Fig. 2 – Diagrama do Alimentador.

onde  $\tau$ ,  $\theta$  e  $\phi$  representam as coordenadas esféricas usuais e o expoente  $N$  especifica o diagrama de radiação (simétrico) do alimentador. Logo, o modelo do alimentador passa a ser definido através de  $N$ . Este expoente pode ser especificado pelo usuário de três formas diferentes: através da especificação direta do valor de  $N$ , através da definição da atenuação do alimentador na direção da borda do subrefletor, ou através da diretividade do alimentador, que para (1) é dada por [10]

$$D_o = 4N + 2. \quad (2)$$

É interessante ressaltar que o modelo do coseno elevado linearmente polarizado gera um campo na abertura também linearmente polarizado [8]. Para o modelo apresentado em (1), o campo na abertura estará orientado na direção do eixo Cartesiano  $x$ . Uma vez definido o expoente  $N$ , as características do alimentador (incluindo a largura de meia potência) são automaticamente apresentadas na janela principal (Fig. 1).

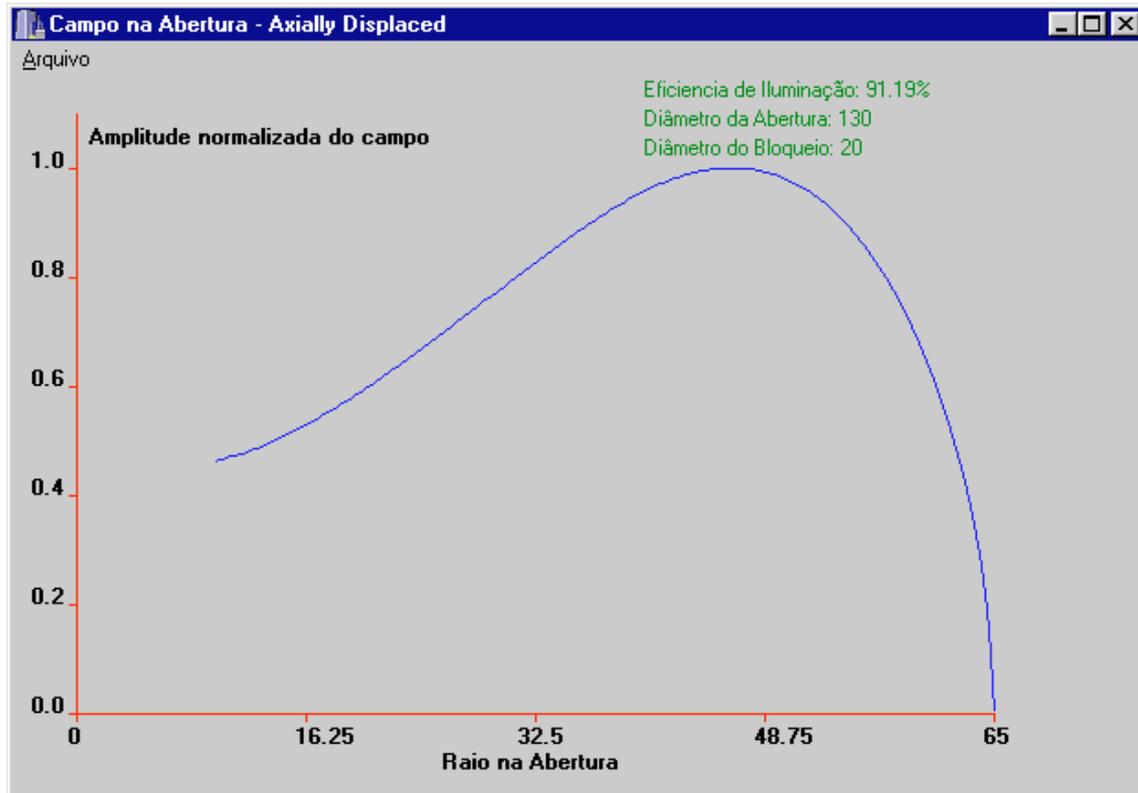
Uma vez definida a família a ser projetada/analísada, a geometria do sistema refletor e o modelo que representa o alimentador, as características elétricas da antena podem ser obtidas através da aplicação do Método da Abertura [10]. Com isso, pode-se determinar o ganho da antena, bem como as principais eficiências: de transbordamento, de iluminação e de abertura (eficiência total) [10]. Estas características também são apresentadas na janela principal (Fig. 1). Note que a

eficiência de abertura é definida em relação a uma abertura uniformemente iluminada, de diâmetro  $D_m$  e sem bloqueio.

É importante ressaltar que qualquer alteração na geometria da antena (seja na família sendo projetada/analísada ou nos cinco parâmetros geométricos de entrada) ou no modelo do alimentador faz com que tanto a representação gráfica do sistema refletor como os valores que representam as diversas características sejam automaticamente recalculados e imediatamente apresentados na janela principal. Em relação a representação gráfica do sistema refletor, note que alguns raios (partindo do foco principal) são traçados junto com as geratrizes dos refletores (Fig. 1). Desta forma o usuário pode imediatamente verificar se a geometria apresenta mecanismos de bloqueio.

### III. CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DO ALIMENTADOR

Uma vez definido o modelo coseno elevado que representa o alimentador (definido pelo expoente  $N$ ), o seu diagrama de radiação e as suas características principais podem ser visualizadas através de uma janela auxiliar (Fig. 2), requisitada a partir da janela principal. Repare que apenas metade do diagrama é apresentado (valores positivos de  $\theta$ ), já que este é circularmente simétrico. Junto com o diagrama também são apresentados a diretividade em decibéis, calculada de (2), a largura de meia potência (HPBW), o expoente  $N$  do modelo



coseno elevado dado por (1) e a atenuação do alimentador na direção da borda do subrefletor (veja a Fig. 2).

#### IV. CAMPO DA GO NA ABERTURA

A análise do campo na abertura em projetos de antenas refletoras é muito importante. A máxima eficiência (teórica) de radiação é obtida quando a distribuição desse campo é uniforme [10]. Uma vez definidas a geometria do sistema refletor e as características do alimentador, o campo na abertura é obtido através de uma formulação analítica fechada, baseada nos princípios da GO [7],[8]. A partir da janela principal, pode-se abrir uma janela auxiliar onde a distribuição (normalizada) da amplitude deste campo é apresentada (Fig. 3). Note que, dada a simetria axial do sistema, apenas metade da distribuição é apresentada. Observe também que do centro da abertura até a borda do raio que define a região do bloqueio (com diâmetro  $D_b$ ) não há campo presente, em conformidade com os princípios da GO. Nesta janela também são apresentados a eficiência de iluminação (definida pela distribuição do campo na abertura) e os diâmetros do refletor principal ( $D_m$ ) e do bloqueio ( $D_b$ ).

#### V. DIAGRAMA DE RADIAÇÃO DA ANTENA

O diagrama de radiação da antena pode ser visualizado através de uma terceira janela auxiliar (Fig. 4). Este diagrama é calculado através do Método da Abertura [10], aplicado

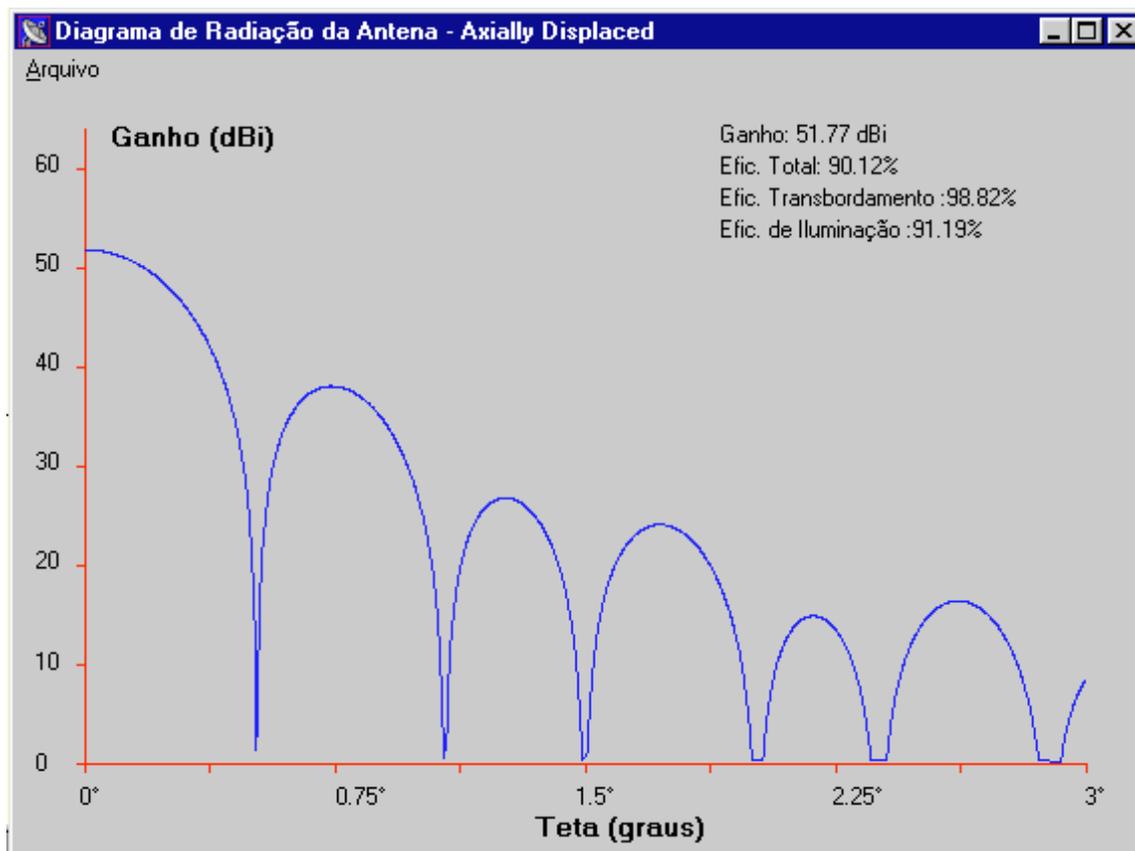
sobre o campo da GO na abertura da antena [7],[8]. O ganho é apresentado em decibéis (valores em dBi) e é calculado considerando-se a potência total irradiada pelo alimentador. Para o modelo coseno elevado definido em (1), esta potência é dada por

$$P_T = \pi / [\eta (2N + 1)], \quad (3)$$

onde  $\eta$  é a impedância característica do meio (aproximadamente  $120\pi \Omega$  para o vácuo). Devido às aproximações inerentes ao Método da Abertura, apenas os cinco ou seis primeiros lóbulos secundários são apresentados. Nesta janela também aparecem os valores do ganho e das diversas eficiências, já descritas anteriormente (veja a Fig. 4).

#### VI. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um programa de computador capaz de projetar e analisar (de maneira aproximada) todos os tipos de antenas com duplo-refletores clássicos axialmente simétricos. A formulação utilizada é baseada nos princípios da Ótica Geométrica (GO) e permite que todas as possíveis configurações sejam obtidas, de forma generalizada e fechada, através de cinco parâmetros geométricos relevantes. A formulação também fornece o campo da GO na abertura do sistema refletor, permitindo que o Método da Abertura seja aplicado para o cálculo aproximado do campo distante entorno da direção de máximo ganho.



Esta formulação analítica permite que a especificação da geometria dos refletores seja feita de forma interativa, tornando o programa amigável e útil para a inicialização de projetos práticos (ou até mesmo para fins didáticos). Diversas características geométricas e elétricas são acessíveis, de maneira quase imediata, facilitando o acompanhamento do projeto.

O programa vem sendo aperfeiçoado. Dentro em breve será implementada a técnica da Ótica Física para a análise mais acurada do campo distante radiado pela antena. No futuro, tenciona-se incorporar também o Método dos Momentos, quando então as únicas aproximações ficarão por conta do modelo utilizado para caracterizar o alimentador e a ausência de estruturas de suporte. Uma versão do programa também vem sendo implementada em linguagem *Java*, no intuito de torná-lo acessível através da *Internet*.

#### REFERÊNCIAS

- [1] F. L. Teixeira, F. J. S. Moreira, and J. R. Bergmann; "An Efficient Approach for the Synthesis of Shaped Reflector;" Proceedings of the 1991 SBMO International Microwave Conference, Rio de Janeiro, Brazil, pp. 189--194, July 1991.
- [2] J. R. Bergmann, F. L. Teixeira, and F. J. S. Moreira; "Diffraction Synthesis of Reflector Antennas: an Efficient Approach for the Optimization Procedure;" 1993 IEEE APS International Symposium Digest, Ann Arbor, Michigan, USA, pp. 266--269, June 1993.
- [3] P. W. Hannan, "Microwave Antennas Derived from the Cassegrain Telescope," IRE Transactions on Antennas and Propagation, AP-9, No. 2, pp. 140--153, March 1961.
- [4] Yu. A. Yerukhimovich, "Analysis of Two-Mirror Antennas of a General Type," Telecommunications and Radio Engineering, Part 2, 27, No. 11, pp. 97--103, 1972.
- [5] Yu. A. Yerukhimovich and A. Ya. Miroshnichenko, "Development of Double-Reflector Antennas with a Displaced Focal Axis," Telecommunications and Radio Engineering, Part 2, 30, No. 9, pp. 90--94, 1975.
- [6] W. Rotman and J. C. Lee, "Compact Dual Frequency Reflector Antennas for EHF Mobile Satellite Communication Terminals," 1984 IEEE APS International Symposium Digest, Boston, Massachusetts, USA, pp. 771--774, June 1984.
- [7] F. J. S. Moreira and A. Prata, Jr., "Generalized Classical Axially-Symmetric Dual-Reflector Antennas," 1997 IEEE APS International Symposium Digest, Montreal, Canada, pp. 1402--1405, July 1997.
- [8] F. J. S. Moreira, "Design and Rigorous Analysis of Generalized Axially-Symmetric Dual-Reflector Antennas," Ph.D. Dissertation, Dept. Electrical Engineering—Electrophysics, University of Southern California, Los Angeles, August 1997.
- [9] A. Prata, Jr., Y.-H. Lee, and K. W. Brown; "RASCAL—Interactive Freeware for Designing Classical Single- and Dual-Reflector Antennas;" 1995 IEEE APS International Symposium Digest, Newport Beach, California, USA, pp. 1082--1085, June 1995.
- [10] C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1997.