

Referências Bibliográficas

ABRANTES, J. **Estudo do Escoamento e Transferência de Calor em um Jato Espiralado Incidente**. Master's thesis, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - Brasil, Janeiro 2005.

ALEKSEENKO, S. V.; BILSKY, A.V.; DULIN, V. M. MARKOVICH, D. M. **Experimental study of an impinging jet with different swirl rates**. International Journal of Heat Fluid Flow, Vol. 28, No. 6, pp. 1340-1359, 2007.

ALHO A.T.P.; ILHA A. **Simulação Numérica de Escoamentos Complexos**. 5ª Escola de Primavera em Transição e Turbulência, IME, Rio de Janeiro 25 a 29 de setembro de 2006.

ANDERSON, S. L.; LONGMIRE, E. K. **Particle motion in the stagnation zone of an impinging jet**. J. Fluid Mech. 299, 333–366, 1995.

ANGIOLETTI, M.; DI TOMMASO, R.M.; NINO, E.; RUOCCO, G. **Simultaneous visualization of flow field evaluation of local heat transfer by transitional impinging jets**. Int. J. Heat Mass Transf. 46, pp. 1703–1713, 2003.

ARGANBRIGHT, D. G.; RESCH, H. **A review of basic aspects of heat transfer under impinging air jets**. Wood Sci. Tech. 5, 73–94, 1971.

ASHFORTH-FROST, S.; JAMBUNATHAN, K.; WHITNEY, C. F. **Velocity turbulence characteristics of a semiconfined orthogonally impinging slot jet**. Exp. Thermal Fluid Sci. 14, 60–67, 1997

BAUGHN, J. W.; SHIMIZU, S. **Heat transfer measurements from a surface with uniform heat flux an impinging jet**. ASME J. Heat Transf. 111, 1096–1098, 1989.

BAUKAL, C. E.; GEBHART, B. **Surface condition effects on flame impingement heat transfer**. Exp. Thermal Fluid Sci. 15, 323–335, 1997.

BEHNIA, M.; PARNEIX, S.; SHABANY, Y.; DURBIN, P.A. **Numerical study of turbulent heat transfer in confined unconfined impinging jets**. Int. J. Heat Fluid Flow, vol. 20, pp. 1-9, 1999.

BEITELMAL, A. H.; SAAD, M. A.; PATEL, C. D. **Effects of surface roughness on the average heat transfer of an impinging air jet**. Int. Comm. Heat Mass Transf. 27, 1–12, 2000.

BILLANT, P.; CHOMAZ, J. M.; HUERRE, P. **Experimental study of vortex breakdown in swirling jets.** J. Fluid Mech. 376, 183–219, 1998.

BRIGNONI, L. A.; GARIMELLA, S. V. **Effects of nozzle-inlet chamfering on pressure drop heat transfer in confined air jet impingement.** Int. J. Heat Mass Transf. 43, 1133–1139, 2000.

CHAN, T. L.; LEUNG, C. W.; JAMBUNATHAN, K.; ASHFORTH-FROST, S.; ZHOU, Y.; LIU, M. H. **Heat transfer characteristics of a slot jet impinging on a semi-circular convex surface.** Int. J. Heat Mass Transf. 45, 993–1006, 2002.

CHEN, H. C.; PATEL, V. C. **Near-Wall Turbulence Models for Complex Flows Including Separation.** AIAA Journal, 26 (6): 641-648, 1988.

CHOI, S.K.; NAM, H.Y.; CHO, M. **A Comparison of High-Order Bounded Convection Schemes.** Computational Methods in Applied Mechanics Engineering, 121:281-301, 1995.

CHORIN A. J. **Numerical Solution of Navier-Stokes Equations.** Mathematics of Computation, 22: 745-762, 1968.

CHORIN A. J. **On the Convergence of Discrete Approximations to the Navier-Stokes Equations.** Mathematics of Computation, 23: 341-353, 1969.

CHUN, D. H.; SCHWARZ, W. H. **Stability of the plane incompressible viscous wall jet subjected to small disturbances.** Phys. Fluids 10, 911–915, 1967.

CLARK, R. A.; FERZINGER, J. H.; REYNOLDS, W. C. **Evaluation of subgrid-scale models using accurately simulated turbulent flow.** J. Fluid Mech., vol 38, pp. 2247-2757, 1979.

COHEN, J.; AMITAY, M.; BAYLY, B. J. **Laminar-turbulent transition of wall jet flows subjected to blowing suction.** Phys. Fluids A 4, 283–289, 1992.

COLUCCI, D. W.; VISKANTA, R. **Effects of nozzle geometry on local convective heat transfer to a confined impinging air jet.** Exp. Thermal Fluid Sci. 13, 71–80, 1996.

COOPER, D.; JACKSON, D. C.; LAUNDER, B. E.; LIAO, G. X. **Impinging Jet Studies for Turbulence Model Assessment – I. Flow Field Experiments.** International Journal of Heat Mass Transfer, vol. 36: No. 10, pp. 2675 – 2684, 1993.

CORNADO, C.; FLEISCHER, A. S; GOLDSTEIN, R. J. **Flow visualization of a round jet impinging on cylindrical surfaces.** Exp. Thermal Fluid Sci. 20, 66–78, 1999.

CORRSIN, S.; KISTLER, A. L. **The Free-Stream Boundaries of Turbulent**

Flows. NACA TN 3133, 1954.

CRAFT, T. J.; GRAHAM, L. J.; LAUNDER, B. E. **Impinging Jet Studies for Turbulence Model Assessment – II. An Examination of the Performance of Four Turbulence Models.** International Journal of Heat Mass Transfer, vol. 36: No. 10, pp. 2685 – 2697, 1993.

CROW, S. C.; CHAMPAGNE, F. H. **Orderly structure in jet turbulence.** J. Fluid Mech. 48, 547–591, 1971.

DALY, B.J.; HARLOW, F. H. **Transport equation in Turbulence.** Phys. Fluids, 13, 2634-2649, 1970.

DANAILA, I.; DUSEK, J.; ANSELMET, F. **Coherent structures in a round, spatially evolving, unforced, homogeneous jet at low Reynolds numbers.** Phys. Fluids 9, 3323–3342, 1997.

DANAILA, I.; BORESMA, B. J. **Direct numerical simulation of bifurcating jets.** Phys. Fluids 12, 1255–1257, 2000.

DAUPTAIN, A.; CUENOT, B.; GICQUEL, LYM. **Large Eddy Simulation of Stable Supersonic Jet Impinging on Flat Plate.** AIAA Journal 48, 2325-2338, 2010.

DEARDORFF, J.M. **A numerical study of three-dimensional turbulent channel flow at large Reynolds number.** J. Fluid Mech., vol 41, PP. 453-480, 1970.

DEJOAN, A.; LESCHZINER, M. **Large eddy simulation of a plane turbulent wall Jet.** Physics Fluids., Department of Aeronautics, Imperial College London, United Kingdom, Vol. 17, 025102, 2005.

DEKEYSER, I.; LAUNDER, B. E. **A comparison of triple-moment temperature-velocity correlations in the asymmetric heated jet with alternative closure models.** In: Symposium on Turbulent Shear Flows, 4th, Karlsruhe, West Germany, Proceedings (A85-14326 04-34). University Park, PA, Pennsylvania State University, 1984, p. 14.1-14.8, September 12-14, 1983.

DIANAT, M.; FAIRWEATHER, M.; JONES, W.P. **Predictions of axisymmetric two-dimensional impinging turbulent jets.** Int. J. Heat Fluid Flow, Vol. 17, pp. 530-538, 1996.

DIDDEN, N.; HO, C. M. **Unsteady separation in a boundary layer produced by an impinging jet.** J. Fluid Mech. 160, 235–256, 1985.

FELLI, M.; FALCHI, M.; ALVES PEREIRA, F. J. **Distance effect on the behavior of an impinging swirling Jet by PIV and flow visualizations.** Exp. Fluids 48, 197-209, 2010.

FINDIKAKIS, A.; STREETER, R.; **An algebraic model for subgrid-scale**

turbulence in stratified flows. J. Atmos. Sciences. vol 36, pp. 1934-1949, 1979.

FLUENT. **Fluent 12.1 documentation.** Fluent Inc. Software Version 12.0.16. 2010.

FONDSE, H.; LEIJDENS, H.; OOMS, G. **On the influence of the exit conditions on the entrainment rate in the development region of a free, round, turbulent jet.** Appl. Sci. Research 40, 355–375, 1983.

FROHLICH, J.; RODI, W. **Introduction to large-eddy simulation of turbulent flows. In Closure Strategies for Turbulent Transitional Flows.** pp. 267–298. Cambridge University Press, 2002.

GAMBIT. **Gambit 12.1 documentation.** Fluent Inc. Software Version 12.0.16. 2010.

GARIMELLA, S. V.; NENAYDYKH, B. **Nozzle-geometry effects in liquid jet impingement heat transfer.** Int. J. Heat Mass Transf. 39, 2915–2923, 1996.

GERMANO, M.; PIOMELLI, U.; MOIN, P.; Cabot, W. H. **A dynamic subgrid scale eddy viscosity model.** Phys. Fluids A 3, 1760–1765, 1991.

GEERS, L.F.G.; TUMMERS; HANJALIC, K. **Experimental Investigation of Impinging Jet Arrays.** Experiments in Fluids, vol. 36, pp., 946-958, 2004.

GIBSON, M. M.; LAUNDER, B.E. **Ground effects on pressure fluctuations in the atmospheric boundary layer.** J. Fluid Mechanics 86, 491-511, 1978.

GINEVSKY, A. S.; VLASOV, Ye. V.; KARAVOSOV, R. K. **Acoustic control of turbulent jets.** Springer-Verlag. 2004.

HADZIABDIC, M.; HANJALIC, K. **Vortical structures heat transfer in a round impinging jet”,** Journal of Fluid Mechanics, Vol. 596, pp. 221-260, 2008.

HALL, J.W.; EWING, D. **The development of the large-scale structures in round impinging jets exiting long pipes at two Reynolds numbers.** Exp. Fluids 38, 50–58, 2005.

HALLQVIST, T. **Large Eddy Simulation of Impinging Jets with Heat Transfer.** Technical Report from Royal Institute of Technology, Department of Mechanics S-100 44 Stockholm, Sweden, March 2006.

HANJALIC, K. **Advanced turbulence closure models: a view of current status future prospects.** International Journal of Heat Fluid Flow Volume 15, Issue 3, , pp 178-203, June 1994.

HANJALIC, K.; LAUNDER B.E. **A Reynolds Stress model of Turbulence its application to thin shear flows.** Journal of Fluid Mechanics 52:4:609-638 Cambridge University Press, 1972.

HARTEL, C.; KLEISER, L. **Analysis modeling of subgrid-scale motions in near-wall turbulence.** Journal of Fluid Mechanics, vol 356, pp. 327-352, 1998.

HARVEY, J. K.; PERRY, F. J. **Flow field produced by trailing vortices in the vicinity of the ground.** AIAA J. 9, 1659–1660, 1971.

HATORI, H; Nagano, Y. **Direct numerical simulation of turbulent heat transfer in plane impinging jet.** International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 25, No. 5, pp. 749-758, 2004.

HINZE, J. O. **Turbulence.** McGraw-Hill, 1975.

HO, C.-M.; NOSSIER, N. **Dynamics of an impinging jet. Part 1. The feedback phenomenon.** J. Fluid Mech. 105, 119–142, 1981.

HOURIGAN, K.; RUDMAN, M.; BROCHER, E. **The feedback loop in impinging two-dimensional high-subsonic supersonic jets.** Exp. Thermal Fluid Sci. 12, 265–270, 1996.

HUANG, L.; EL-GENK, M.S. **Heat transfer flow visualization experiments of swirling, multi-channel, conventional impinging jets.** Int. J. Heat Mass Transf. 41, 583–600, 1998.

HUANG, P.; BRADSHAW, P.; COAKLEY, T. **Skin Friction and Velocity Profile Family for Compressible Turbulent Boundary Layers.** AIAA Journal, 31(9):1600-1604, September 1993.

HUSSEIN, H. J.; CAPP, S.; GEORGE, W. K. **Velocity measurements in a high-Reynolds-number, momentum-conserving, axisymmetric, turbulent jet.** J. Fluid Mech. 258, 31–75, 1994.

HSIAO, F. B.; HSU, I. C.; HUANG, J.M. **Evolution of coherent structures and feedback mechanism of the plane jet impinging on a small cylinder.** J. Sound Vibr. 278, 1163–1179, 2004.

HUTCHINSON B. R.; RAITHBY G. D. **A Multigrid Method Based on the Additive Correction Strategy.** Numerical Heat Transfer, 9: 511-537, 1986.

HWANG, S. D.; LEE, C. H.; CHO, H. H. **Heat transfer flow structures in axisymmetric impinging jet controlled by vortex pairing.** Int. J. Heat Fluid Flow 22, 293–300, 2001.

HWANG, S. D.; CHO, H. H. **Effects of acoustic excitation positions on heat transfer flow in axisymmetric impinging jet: main jet excitation shear layer excitation.** Int. J. Heat Fluid Flow 24, 199–209, 2003.

ISMAN, M. K.; PULAT, E.; ETEMOGLU, A. B.; Can, M. **Numerical Investigation of Turbulent Impinging Jet Cooling of a Constant Heat Flux Surface,** Numerical Heat Transfer, Part A: Applications, Vol. 53, No. 10, pp.

1109 – 1132, 2008.

ISSA R. I. **Solution of Implicitly Discretized Fluid Flow Equations by Operator Splitting.** Journal of Computational Physics, vol 62. pp 40-65, 1986.

JARAMILLO, J. E.; PÉREZ-SEGARRA, C. D.; RODRIGUEZ, I.; OLIVA, A. **Numerical Study of Plane and Round Impinging Jets using RANS models.** Numerical Heat Transfer, Part B, 54: 213–237, 2008

JONGEN, T.; MARX, Y.P. **Design of an Unconditionally Stable, Positive Scheme for the K-Epsilon Two-Layer Turbulence Models.** Computers Fluids, 26(5): 469-487, 1997.

KADER, B. **Temperature and Concentration Profiles in Fully Turbulent Boundary Layers.** Int. J. Heat Mass Transfer, 24(9):1541-1544, 1981.

KIM, N.S.; GIOVANNINI, A. **Experimental study of turbulent round jet flow impinging on a square cylinder laid on a flat plate.** International Journal of Heat Fluid Flow, Vol. 28, No. 6, pp. 1327-1339, 2007.

KNOWLES, K.; MYSZKO, M. **Turbulence measurements in radial wall-jets.** Exp. Thermal Fluid Sci. 17, 71–78, 1998.

KOSEOGLU, M. F.; BASKAYA, S. **The role of jet inlet geometry in impinging jet heat transfer, modeling and experiments.** International Journal of Thermal Sciences 49,1417-1426, 2010.

KUBACKI, S.; DICK, E. **Hybrid RANS/LES of Low Reynolds Number round Impinging Jets.** V European Conference on Computational Fluid Dynamics Lisboa-Portugal, 14-17 June 2010.

LANDRETH, C. C.; ADRIAN, R. J. **Impingement of a low Reynolds number turbulent circular jet onto a flat plate at normal incidence.** Exp. Fluids 9, 74–84, 1990.

LAROCQUE, J. **Heat Transfer Simulation in Swirling Impinging Jet.** Institut National Polytechnique de Grenoble, Division of Heat Transfer, 2004.

LAUNDER B. E. **Second-moment closure: present ... future?** Int. J. Heat Fluid Flow 10, 282-300, 1989.

LAUNDER B. E.; REECE G.J.; RODI W. **Progress in the Development of a Reynolds-Stress Turbulence Closure.** Journal of Fluids Mechanics, 68(3):537-566,1975.

LAUNDER B. E.; REYNOLDS W. C.; RODI W.; MATHIEU J.; JEEL D. **Turbulence models their applications (volume 2).** Collection de la direction des études et recherches d' électricité de France, Editions Eyrolles, 1984.

LAUNDER, B. E.; SHIMA, N. **Second-Moment Closure for the Near-Wall**

Sublayer: Development and Application. *AIAA Journal*, 27(10):1319-1325, 1989.

LAUNDER B. E.; SPALDING D. B. **The Numerical Computation of Turbulent Flows.** *Comput. Methods Appl. Mech. Eng.* 3, pp. 269-289, 1974.

LAUNDER B. E.; SPALDING D. B. **Mathematical Models of Turbulence.** Academic Press, London, 1972.

LEE, D. H.; LEE, Y. M.; KIM, Y. T.; WON, S. Y.; CHUNG, Y. S. **Heat transfer enhancement by the perforated plate installed between an impinging jet the target plate.** *Int. J. Heat Mass Transf.* 45, 213–217, 2002a.

LEE, J.; LEE, S.J. **The effect of nozzle configuration on stagnation region heat transfer enhancement of axisymmetric jet impingement.** *Int. J. Heat Mass Transf.* 43, 3497–3509, 2000b.

LEONARD, B.P. **A Stable Accurate Convective Modeling Procedure Based on Quadratic Upstream Interpolation.** *Computer Methods in Applied Mechanics Engineering*, 19 (1): 59-98, 1979.

LEONARD, B.P.; MOKHTARI S. **ULTRA-SHARP Nonoscillatory Convection Schemes for High-Speed Steady Multidimensional Flow.** NASA TM 1-2568 (ICOMP-90-12), NASA Lewis Research Center, 1991.

LEONARD, B. P. **The ULTIMATE Conservative Difference Scheme Applied to Unsteady One-Dimensional Advection.** *Computer Methods in Applied Mechanics Engineering*, 88: 17-74, 1991.

LESIEUR, M.; MÉTAIS, O. **New trends in large eddy simulations of turbulence.** *Annual Rev. Fluid Mech.*, 28, pp. 45-82, 1996.

LIEN F. S.; LESCHZINER M.A. **Assessment of Turbulent Transport Models Including Non-Linear RNG Eddy-Viscosity Formulation Second-Moment Closure.** *Computers Fluids*, 23(8):983-1004, 1994.

LILLY, D. K. **The representation of small-scale turbulence in numerical simulation experiments.** In *Proc. IBM Scientific Computing Symposium on Environmental Sciences*, page 195, 1967.

LILLY, D. K. **A proposed modification of the Germano subgrid-scale closure method.** *Phys. Fluids A4*, 633-635, 1992.

LIMAYE, M. D.; MAYE, R. P.; VEDULA, R. P.; PRABHU, S. V. **Local heat transfer distribution on a flat plate impinged by a compressible round air jet.** *International Journal of Thermal Sciences* 49, 2157-2168, 2010.

LIU, T.; SULLIVAN, J. P. **Heat transfer flow structures in an excited circular impinging jet.** *Int. J. Heat Mass Transf.* 39, 3695–3706, 1996.

LUMLEY, J. L. **Computational modeling of turbulent flows.** In: Advances in applied mechanics. Vol. 18. (A79-47538 21-34) New York, Academic Press, Inc. pp. 123-176, 1978.

MALDONADO, D.I.; NIECKELE, A.O. **Evaluation of the κ - ω SST Model For The Prediction of an Impinging Jet on a Plate.** Proceeding of V National Congress Of Mechanical Engineering, Salvador, Bahia, Brazil, CON08-0824, 2008.

MALDONADO, D.I.; e NIECKELE, A.O. **Performance of the Reynolds Stress Model in the Prediction of the Heat Transfer of an Impinging Jet.** 12th Brazilian Congress of Thermal Engineering Sciences, Minas Gerais, Belo Horizonte, Brazil, ABCM, 2008.

MAUREL, A.; ERN, P.; ZIELINSKA, B.J.A.; WESFREID, J.E. **Experimental study of self-sustained oscillations in a confined jet.** Phys. Rev. E 54, 3643–3651, 1996.

MENTER, F. R.; KUNTZ, M.; LANGTRY, R. **Ten Years of Industrial Experience with the SST Turbulence Model.** Proceedings of the 4th International Symposium on Turbulence, Heat Mass Transfer, pp. 625-632, 2003.

MENTER, F.R. **Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications.** AIAA Journal 32, 1598-1605, 1994.

MOIN, P. **Advances in large eddy simulation methodology for complex flows.** International Journal of Heat Fluid Flow 23: pp. 710–720, 2002.

NAOT, D.; SHAVIT, A.; WOLFSHTEIN, M. **Interactions between components of the turbulent velocity correlation tensor.** Israel J. Tech., 8, 738, 1970.

NIECKELE, A.O. **Apostila com notas de aula de Turbulência,** Pontifícia Universidade Católica, PUC-Rio, Departamento de Engenharia Mecânica, Rio de Janeiro, 2006.

NOZAKY, A.; IGARASHI, Y.; HISHIDA, K. **Heat transfer mechanism of a swirling impinging jet in a stagnation region.** Heat Transfer – Asian Research, Department of System Design Engineering, Keio University, Yokohama, Japan, Vol. 32, No. 8, pp. 663-673, 2003.

ORTEGA CASANOVA, J.; FERNANDEZ-FARIA, R. **Three-dimensional transitions in a swirling jet impinging against a solid wall at moderate Reynolds numbers.** Physics of Fluids 21, 034107, 2009.

PANDA, J.; McLAUGHLIN, D. K. **Experiments on the stability of a swirling jet.** Phys. Fluids 6, 263–276, 1994.

PARK, T. S.; SUNG, H. J. **Development of a near-wall turbulence model**

application to jet impingement heat transfer. Int. J. Heat Fluid Flow 22, 10–18, 2001.

PATANKAR, S. V. **Numerical Heat Transfer Fluid Flow.** Hemisphere Publishing, New York, 1980.

PIOMELLI, U. **Large-eddy simulation: achievements challenges.** Progress in Aerospace Sciences, 35: pp. 335–362, 1999.

PIOMELLI et al., **Large eddy simulations of turbulent flows, from desktop piomeli,** 2001.

POPE, S. B. **Turbulent Flows,** Cambridge University Press, 2000.

POPIEL, C. O.; TRASS, O. **Visualization of a free impinging round jet.** Exp. Thermal Fluid Sci. 4, 253–264, 1991.

RAMAN, G.; ZAMAN, K. B. M.; Rice, E. J, **Initial turbulence effect on jet evolution with and without tonal excitation.** Phys. Fluids A 1, 1240–1248, 1989.

RHIE, C. M.; CHOW, W. L. **Numerical study of the Turbulent Flow Past an Airfoil with Trailing Edge Separation,** AIAA Journal, 21(11): 1525-1532, 1983.

ROCKWELL, D.; NAUDASCHER, E. **Self-sustained oscillations of impinging free shear layers.** Ann. Rev. Fluid. Mech. 11, 67–94, 1979.

SAGAUT, P. **Large Eddy Simulation for Incompressible Flows, An Introduction.** Springer, second edition, 2002.

SAKAKIBARA, J.; HISHIDA, K.; MAEDA, M. **Vortex structure and heat transfer in the stagnation region of an impinging plane jet (simultaneous measurements of velocity and temperature fields by digital particle image velocimetry and laser-induced fluorescence).** Int. J. Heat Mass Transfer 40 (13), 3163–3176, 1997.

SCHIESTEL, R.; ELENA L. **Modeling os Anisotropic Turbulence in Rapid Rotation.** In: Aerospace Science Technology, No 7, 441-451, 1997.

SCHMIDT, R. C.; KERSTEIN, A. R.; WUNSCH, S.; NILSEN, V. **Near wall LES closure based on one-dimensional turbulence modeling.** Journal of Computational Physics, 186: pp. 317–355, 2003.

SHAANAN, S.; FERZINGER, J.H.; REYNOLDS, W. C. **Numerical simulation of turbulence in presence of shear.** Rep. TF-6, Dept. Mechanical Engineering, Stford University, 1975.

SHIH, T.-H.; LIOU, W. W; SHABBIR, A.; YANG, Z.; ZHU, J. **A new k-ε Eddy-Viscositu Model for High Reynolds Number Turbulent Flows – Model Development and Validation.** Computers Fluids, 24(3):227-238, 1995.

SHIR, C. C. **A preliminary numerical study of atmospheric turbulent flows in the idealized planetary boundary layer.** J. Atmos. Sci., 30, 1327-1339, 1973.

SILVEIRA NETO, A. **Fundamentos da Turbulência nos Fluidos.** Anais da I Escola de Primavera de Transição e Turbulência, 1998.

SILVEIRA NETO, A. **Simulação de Grandes Escalas de Escoamentos Turbulentos.** Anais da I Escola de Primavera de Transição e Turbulência, 1998.

SILVESTRINI, J. H. **Simulação numérica direta e de grandes escalas de escoamentos transicionais e turbulentos.** Segunda Escola de turbulência, Uberlândia, MG, Brasil, pp. 148-219, 2000.

SPALART, P. R. **Strategies for turbulence modeling simulations.** Int. J. Heat Fluid Flow 21, 252–263, 2000.

SPEZIALE, C. G.; GATSKI, T. B.; SARKAR, S. **On Testing Models for the Pressure-Strain Correlation of Turbulence using Direct Simulations.** Phys. Fluids A, 4, 2887-2899, 1991.

SREENIVASAN, K. R. **On the universality of the Kolmogorov constant.** Phys. Fluids 7, 2778-2784, 1995

TANNEHILL, J.; ERSON, D.; PLETCHER, R. **Computational fluid Mechanics Heat Transfer.** Taylor Francis, 1997.

TAWFEK, A. A. **Heat transfer pressure distributions of an impinging jet on a flat surface.** Heat Mass Transf. 32, 49–54, 1996.

THOMAS, F. O.; CHU, H. C. **An experimental investigation of the transition of a planar jet: Subharmonic suppression upstream feedback.** Phys. Fluids A 1, 1566–1587, 1989.

TSUBOKURA, M.; KOBAYASHI, T.; TANIGUCHI, N.; Jones, W. P. **A numerical study on the eddy structures of impinging jets excited at the inlet.** Int. J. Heat Fluid Flow 24, 500–511, 2003

TU, C. V.; WOOD, D. H. **Wall pressure shear stress measurements beneath an impinging jet.** Exp. Thermal Fluid Sci. 13, 364–373, 1996.

UMEDA, Y.; MAEDA, H.; ISHII, R. **Discrete tones generated by the impingement of a high-speed jet on a circular cylinder.** Phys. Fluids 30, 2380–2388, 1987.

VISKANTA, R. **Heat transfer to impinging isothermal gas flame jets.** Exp. Thermal Fluid Sci. 6, 111–134, 1993.

WARSI, Z.U.A. **Fluid Dynamics - Theoretical computational approaches.** CRC Press, 1992.

WEN, M.Y.; JANG, K.J. **An impingement cooling on a flat surface by using circular jet with longitudinal swirling strips.** Int. J. Heat Mass Transf. 46, 4657–4667, 2003.

WHITE and CHRISTOGH. **A Simple New Analysis of Compressible Turbulent Skin Friction Under Arbitrary Conditions.** Technical Report AFFDL-TR-70-133, February 1971.

WILCOX, D. C. **Turbulence Modeling for CFD.** DCW Industries, Inc., La Canada, California, 1998.

WILCOX, D. C. **Formulation of the k - x turbulence model revisited.** AIAA J. 46, 2823–2837, 2008.

WOLFSTEIN, M. **The Velocity Temperature Distribution of One-Dimensional Flow with Turbulence Augmentation Pressure Gradient.** Int. J. Heat Mass Transfer, 12, 301-318, 1969.

YAKHOT, V.; ORSZAG, S.A; THANGAM, S.; GATSKI, T. B., SPEZIALE, C.; **Development of Turbulence Models for Shear Flows by a Double expansion.** Technique Phys. Fluids A. 4 (7), 1510-1520, 1991.

YANG, H, Q.; KIM, T.; LU, T. J.; ICHIMIYA, K. **Flow structure, wall pressure and heat transfer characteristics of impinging annular jet with/without steady swirling.** International Journal of Heat and Mass Transfer 53 4092–4100, 2010.

YAPICI, S.; KUSLU, S.; OZMETIN, C.; ERSAHAN, H.; PEKDEMIR, T. **Surface shear stress for a submerged jet impingement using electrochemical technique.** *J. Appl. Electrochemistry* 29, 185–190, 1999.

ZHU, J.; RODI, W. **A Low Dispersion Bounded Convection Scheme,** Computer Methods in Applied Mechanics Engineering, 92: 225-232, 1991.

APÊNDICE A

Domínio Computacional e Malha

A.1

Simulações RANS

O domínio computacional foi baseado na experiência de Abrantes (2005). As dimensões do domínio computacional para os casos axi-simétricos na modelagem RANS foram consideradas na direção axial de $H = 2D$ e na coordenada radial de $L = 6D$. As condições do escoamento foram descritas na condição de fronteira denominada “entrada” com as características correspondentes a cada caso analisado. Nas outras fronteiras, na direção radial e na seção superior alinhada com a condição de entrada foram definidas como fronteiras de saída onde a pressão ambiente foi especificada. Na condição inferior foi definida a condição de parede onde o fluxo de calor correspondente a cada caso analisado era especificado.

As simulações finais foram realizadas com a malha ótima o qual tinha 18000 (120x150) células no plano (axial x radial). Este domínio foi selecionado, mediante um prévio teste de malha, para todos os casos estudados ($S = 0, S = 0,3$ e $S = 0,5$). O teste de malha foi realizado utilizando o modelo $k - \omega SST$.

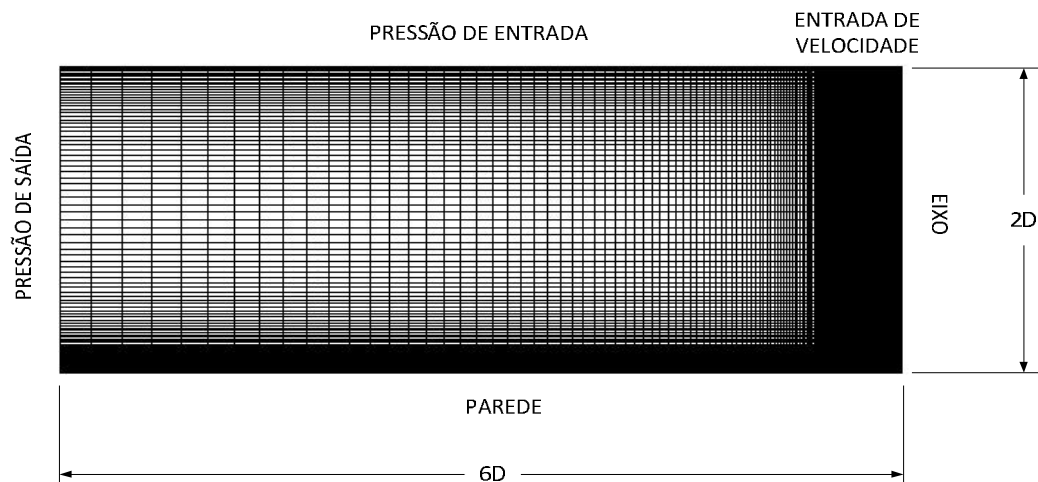


Figura A.1 Detalhes do domínio computacional utilizado, malha 120x150.

A figura A.1 ilustra o domínio computacional utilizado para as simulações

realizadas no presente trabalho. Como mencionado anteriormente, o teste de malha foi realizado utilizando o modelo $k-\omega SST$ (Wilcox, 1998), com o esquema de interpolação QUICK.

Para todos os casos em estudo ($S = 0, S = 0,3$ e $S = 0,5$), foram realizados diferentes testes de malha, mantendo o domínio computacional sem variações, no entanto o número de células nas direções axial e radial era variado.

Num início o estudo foi realizado mantendo um número de pontos constantes na direção axial e variando o número de pontos na direção radial, este procedimento foi denominado “teste radial”. Posteriormente se escolheu a melhor malha do “teste radial”; a partir dela procedeu-se a realizar o “teste axial”. Na realização do teste axial, se tinha conhecido já o número de pontos na coordenada radial (procedente do “teste radial”), bastava somente variar o número de pontos na coordenada axial. Desta comparação das malhas, no “teste axial”, se escolheu a melhor em termos de custo computacional e resultados.

Todas as malhas optadas na realização dos testes foram estruturadas, já que apresentam menores erros de não-ortogonalidade e fornecendo uma maior facilidade no controle das modificações necessárias na procura de resultados. Todas as malhas foram geradas a partir do programa Gambit (Gambit, 2010).

As malhas utilizadas nas simulações RANS são apresentadas na tabela A.1. Poder-se observar 5 malhas, nas quais as três primeiras correspondem ao teste radial, deste teste foi escolhida como melhor malha em termos de custo computacional e resultados a malha 120x150. Tendo escolhida esta malha devia ser avaliado o número de pontos na coordenada axial mantendo o número de pontos na coordenada radial no valor de 150. Na comparação da malha 120x150 com as malhas do teste axial (100x150 e 240x150), não houve diferença significativa com a malha mais refinada, sendo esta a malha escolhida para as simulações finais de todos os casos ($S = 0, S = 0,3$ e $S = 0,5$).

Tabela A.1 – Malhas escolhidas para a realização do teste de malha – Simulações RANS.

Teste de Malha		
Nº Pontos C. Axial	Nº Pontos C. Radial	Nº Células
120	120	14400
120	150	18000
120	200	24000
100	150	15000
240	150	36000

Todas estas malhas indiferentemente dos casos ($S = 0, S = 0,3$ e $S = 0,5$), cumpriam com o y^+ no primeiro ponto nodal menor a 1. Com a malha escolhida, posteriormente gerou-se a geometria 3D (incrementando a componente tangencial), na qual se aplica a Simulação de Grandes Escalas (LES).

A continuação é discutida a escolha da malha apropriada para os casos estudados ($S = 0, S = 0,3$ e $S = 0,5$).

A.1.1

Teste de malha para simulações RANS, $S=0$

Teste Radial, caso $S=0$

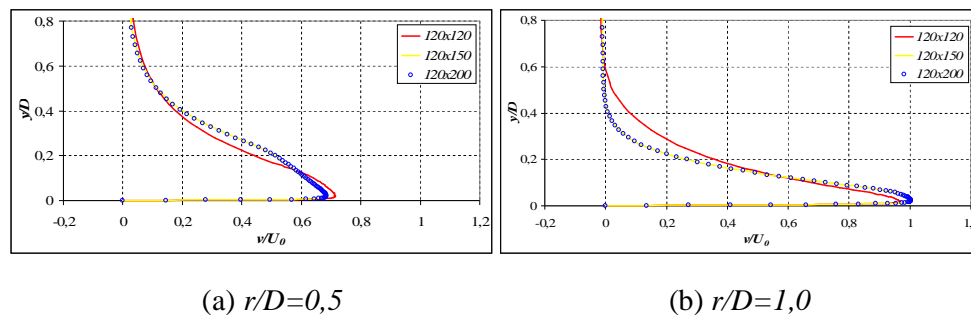
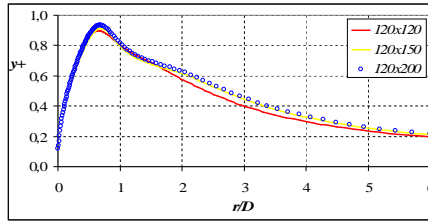
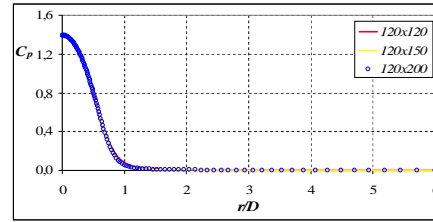


Figura A.2 Teste de malha radial para $S=0$ através da Velocidade radial.

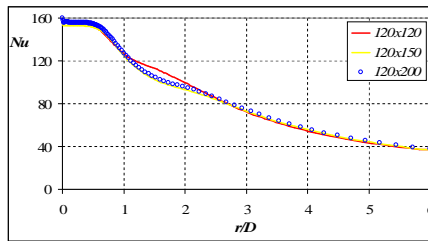
A Figura A.2 mostra a comparação entre os perfis de velocidade radial, para o caso $S=0$, avaliado pelo modelo $k - \omega SST$. Podemos observar que o comportamento da velocidade radial na coordenada $r/D=0,5$ (com a malha 120×150) é semelhante ao resultado obtido com a malha mais refinada (120×200). O perfil de velocidade com a malha menos refinada (120×120) fica mais afastado dos resultados obtidos com as malhas anteriores. O mesmo comportamento pode ser observado na análise da coordenada $r/D=1,0$. O maior erro entre as soluções das malhas média e refinada apresentadas na Figura A.2 não ultrapassa o 1%. De esta forma, fica evidente que a utilização da malha 120×150 (axial x radial) é adequada para a obtenção dos resultados numéricos com um menor esforço computacional.

Do mesmo modo analisando o resultado das figuras A.3 e A.4 pode-se concluir que a malha 120×150 é a mais adequada em termos de resultados numéricos e esforço computacional.

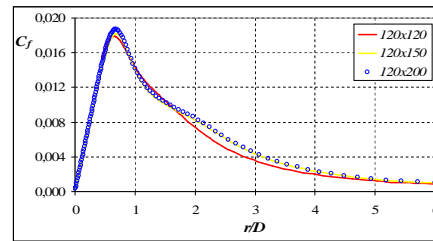
(a) y^+ na parede

(b) Coeficiente de pressão na parede

Figura A.3 Teste de malha radial para $S=0$ através do y^+ e o Coeficiente de pressão (C_p) na parede.



(a) Nu na parede



(b) Coeficiente de atrito na parede

Figura A.4 Teste de malha radial para $S=0$ através Número de Nusselt (Nu) e Coeficiente de Atrito (C_f) na parede.

No teste radial foram testadas três malhas, nas quais existia variação (número de pontos) na componente radial. Como resultado foi escolhida a malha 120x150. A continuação se mostra o procedimento de teste de malha na coordenada axial, na qual serão testadas três malhas, sendo uma a malha do teste radial já escolhida (120x150).

Teste Axial, caso $S=0$

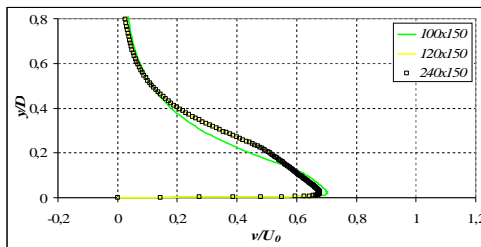
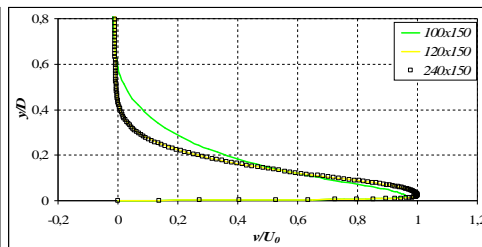
(a) $r/D=0,5$ (b) $r/D=1,0$

Figura A.5 Teste de malha axial para $S=0$ através da Velocidade radial.

A Figura A.5 mostra a comparação entre os perfis de velocidade radial, para o caso $S=0$, avaliado pelo modelo $k - \omega SST$. Podemos observar que o comportamento da velocidade radial na coordenada $r/D=0,5$ (com a malha 120x150) é semelhante ao

resultado obtido com a malha mais refinada (240x150). O perfil de velocidade com a malha menos refinada (100x150) fica mais afastado dos resultados obtidos com as malhas anteriores. O mesmo comportamento pode ser observado na análise da coordenada $r/D=1,0$. O maior erro entre as soluções das malhas media e refinada apresentadas na Figura A.5 não ultrapassa o 0,5%. De esta forma, fica evidente que a utilização da malha 120x150 (axial x radial) é adequada para a obtenção dos resultados numéricos com um menor esforço computacional.

Do mesmo modo analisando o resultado das figuras A.6 e A.7 pode-se concluir que a malha 120x150 é a mais adequada em termos de resultados numéricos e esforço computacional.

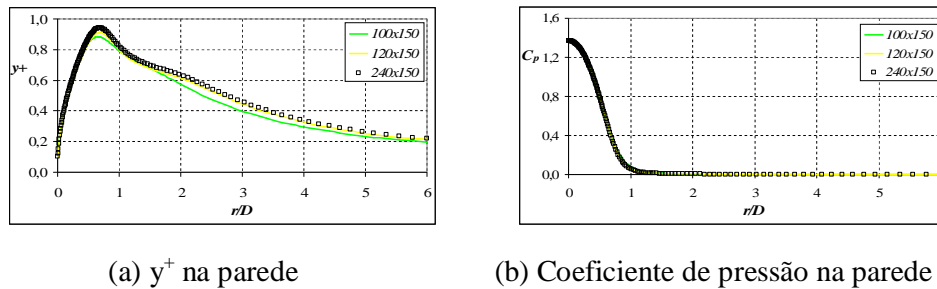


Figura A.6 Teste de malha axial para $S=0$ através do y^+ e o Coeficiente de pressão (C_p) na parede.

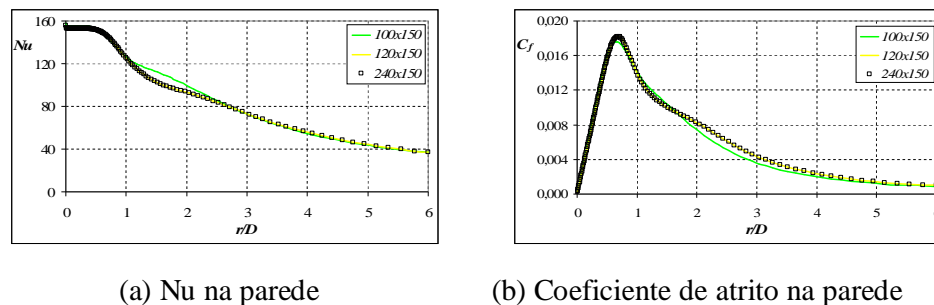


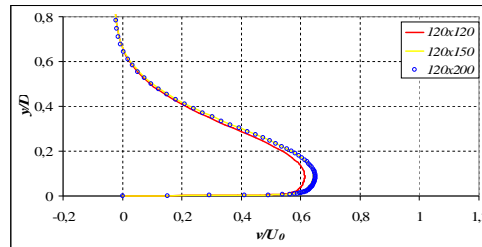
Figura A.7 Teste de malha axial para $S=0$ através Número de Nusselt (Nu) e Coeficiente de Atrito (C_f) na parede.

Como resultado final, logo da avaliação da malha radialmente e axialmente, concluiu-se que, a malha que fornece os resultados mais adequados e com um custo computacional não tão grande é a malha 120x150 (axial x radial). É com esta malha que os modelos para o caso $S=0$ foram testados. A continuação se apresenta a análise de teste de malha para os casos com Swirl ($S=0,3$ e $S=0,5$).

A.1.2

Teste de malha para simulações RANS, $S=0,3$

Teste Radial, caso $S=0,3$



$$r/D=1,0$$

Figura A.8 Teste de malha radial para $S=0,3$ através da Velocidade radial.

A Figura A.8 mostra a comparação entre os perfis de velocidade radial, para o caso $S=0,3$, avaliado pelo modelo $k-\omega$ SST. Podemos observar que o comportamento da velocidade radial na coordenada $r/D=1,0$ (com a malha 120×150) é semelhante ao resultado obtido com a malha mais refinada (120×200). O perfil de velocidade com a malha menos refinada (120×120) fica mais afastado dos resultados obtidos com as malhas anteriores. O maior erro entre as soluções das malhas media e refinada apresentadas na Figura A.8 não ultrapassa o 1%. De esta forma, fica evidente que a utilização da malha 120×150 (axial x radial) é adequada para a obtenção dos resultados numéricos com um menor esforço computacional.

Do mesmo modo analisando o resultado da figura A.9 pode-se concluir que a malha 120×150 é a mais adequada em termos de resultados numéricos e esforço computacional.

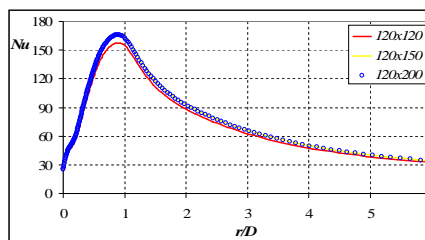
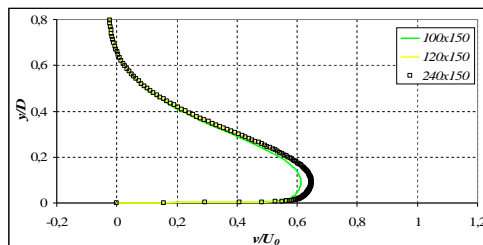


Figura A.9 Teste de malha radial para $S=0,3$ através Número de Nusselt (Nu) na parede.

No teste radial foram testadas três malhas, nas quais existia variação (número de pontos) na componente radial. Como resultado foi escolhida a malha 120×150 . A continuação se mostra o procedimento de teste de malha na coordenada axial, na qual serão testadas três malhas, sendo uma a malha do teste radial já escolhida (120×150).

Teste Axial, caso $S=0,3$



$$r/D=1,0$$

Figura A.10 Teste de malha axial para $S=0,3$ através da Velocidade radial.

A Figura A.10 mostra a comparação entre os perfis de velocidade radial, para o caso $S=0,3$, avaliado pelo modelo $k-\omega$ SST. Podemos observar que o comportamento da velocidade radial na coordenada $r/D=1,0$ (com a malha 120×150) é semelhante ao resultado obtido com a malha mais refinada (240×150). O perfil de velocidade com a malha menos refinada (100×150) fica mais afastado dos resultados obtidos com as malhas anteriores. O maior erro entre as soluções das malhas média e refinada apresentadas na Figura A.11 não ultrapassa o 0,5%. De esta forma, fica evidente que a utilização da malha 120×150 (axial x radial) é adequada para a obtenção dos resultados numéricos com um menor esforço computacional.

Do mesmo modo analisando o resultado da figura A.11 pode-se concluir que a malha 120×150 é a mais adequada em termos de resultados numéricos e esforço computacional.

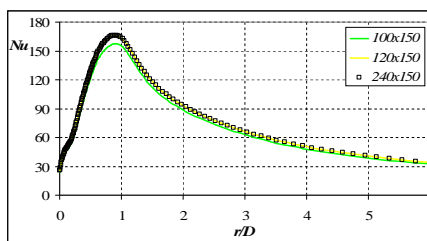


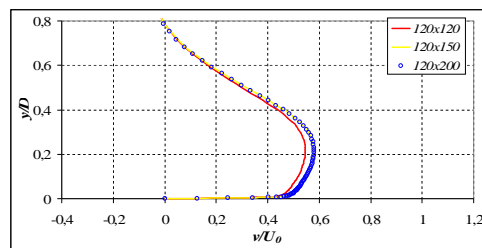
Figura A.11 Teste de malha axial para $S=0,3$ através Número de Nusselt (Nu) na parede.

Como resultado final, logo da avaliação da malha radialmente e axialmente, concluiu-se que, a malha que fornece os resultados mais adequados e com um custo computacional não tão grande é a malha 120×150 (axial x radial). É com esta malha que os modelos para o caso $S=0,3$ foram testados.

A.1.3 Teste de malha para simulações RANS, $S=0,5$

Teste Radial, caso $S=0,5$

A Figura A.12 mostra a comparação entre os perfis de velocidade radial, para o caso $S=0,5$, avaliado pelo modelo $k-\omega SST$. Podemos observar que o comportamento da velocidade radial na coordenada $r/D=1,0$ (com a malha 120×150) é semelhante ao resultado obtido com a malha mais refinada (120×200). O perfil de velocidade com a malha menos refinada (120×120) fica mais afastado dos resultados obtidos com as malhas anteriores. O maior erro entre as soluções das malhas media e refinada apresentadas na Figura A.12 não ultrapassa o 0,5%. De esta forma, fica evidente que a utilização da malha 120×150 (axial x radial) é adequada para a obtenção dos resultados numéricos com um menor esforço computacional.



$$r/D=1,0$$

Figura A.12 Teste de malha radial para $S=0,5$ através da Velocidade radial.

Do mesmo modo analisando o resultado da figura A.13, pode-se concluir que a malha 120×150 é a mais adequada em termos de resultados numéricos e esforço computacional.

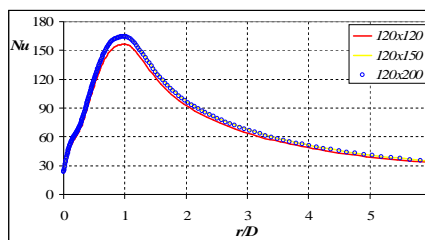
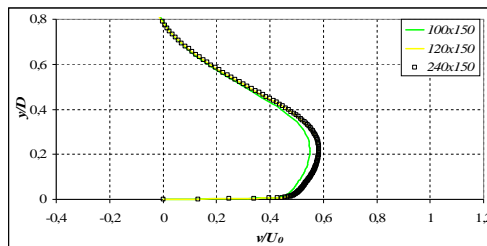


Figura A.13 Teste de malha radial para $S=0,5$ através Número de Nusselt (Nu) na parede.

No teste radial foram testadas três malhas, nas quais existia variação (número de pontos) na componente radial. Como resultado foi escolhida a malha 120×150 . A

continuação se mostra o procedimento de teste de malha na coordenada axial, na qual serão testadas três malhas, sendo uma a malha do teste radial já escolhida (120x150).

Teste Axial, caso $S=0,5$



$$r/D=1,0$$

Figura A.14 Teste de malha axial para $S=0,5$ através da Velocidade radial.

A Figura A.14 mostra a comparação entre os perfis de velocidade radial, para o caso $S=0,5$, avaliado pelo modelo $k-\omega$ SST. Podemos observar que o comportamento da velocidade radial na coordenada $r/D=1,0$ (com a malha 120x150) é semelhante ao resultado obtido com a malha mais refinada (240x150). O perfil de velocidade com a malha menos refinada (100x150) fica mais afastado dos resultados obtidos com as malhas anteriores. O maior erro entre as soluções das malhas média e refinada apresentadas na Figura A.14 não ultrapassa o 0,5%. De esta forma, fica evidente que a utilização da malha 120x150 (axial x radial) é adequada para a obtenção dos resultados numéricos com um menor esforço computacional.

Do mesmo modo analisando o resultado das figuras A.15 pode-se concluir que a malha 120x150 é a mais adequada em termos de resultados numéricos e esforço computacional.

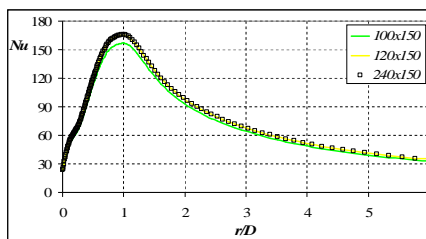


Figura A.15 Teste de malha axial para $S=0,5$ através Número de Nusselt (Nu) na parede.

Como resultado final, logo da avaliação da malha radialmente e axialmente, concluiu-se que, a malha que fornece os resultados mais adequados e com um custo computacional não tão grande é a malha 120x150 (axial x radial). É com esta malha que

os modelos para o caso $S=0,5$ foram testados.

A.2 Simulações LES

O teste de malha para as simulações LES foi realizado utilizando no plano x-y o mesmo domínio computacional dos casos RANS e uma malha mais refinada tanto nas coordenadas axial e radial, esta malha foi escolhida em base às malhas nos trabalhos de Hadziabdic and Hanjalic (2008) e Hallqvist (2006).

Para obter a tridimensionalidade da malha foi distribuída no domínio de 360° , com 200 pontos na coordenada tangencial. A distancia adimensional entre o bocal de saída do jato e a superfície era de $H/D = 2$, e a distancia radial igual a $6D$.

Tabela A.2 – Malhas escolhidas para a realização do teste de malha - Simulações LES.

Teste de Malha			
Nº Pontos C. Axial	Nº Pontos C. Radial	Nº Pontos C. Tangencial	Nº V.Controle
120	150	200	3,600000
150	180	200	5,400000

As malhas de 3,600000 e 5,400000 V.Controle, foram denominadas de 3,6M e 5,4M. As simulações LES foram realizadas aproveitando perfis de velocidades e temperaturas já convergidos mediante simulações LES. De este modo o custo computacional era diminuído. Em ambas malhas o valor do y^+ na superfície de incidência, depois do desenvolvimento estatístico do escoamento foi verificada como sendo maior a 1.

O detalhe da malha na coordenada tangencial é detalhado na Figura A.16.

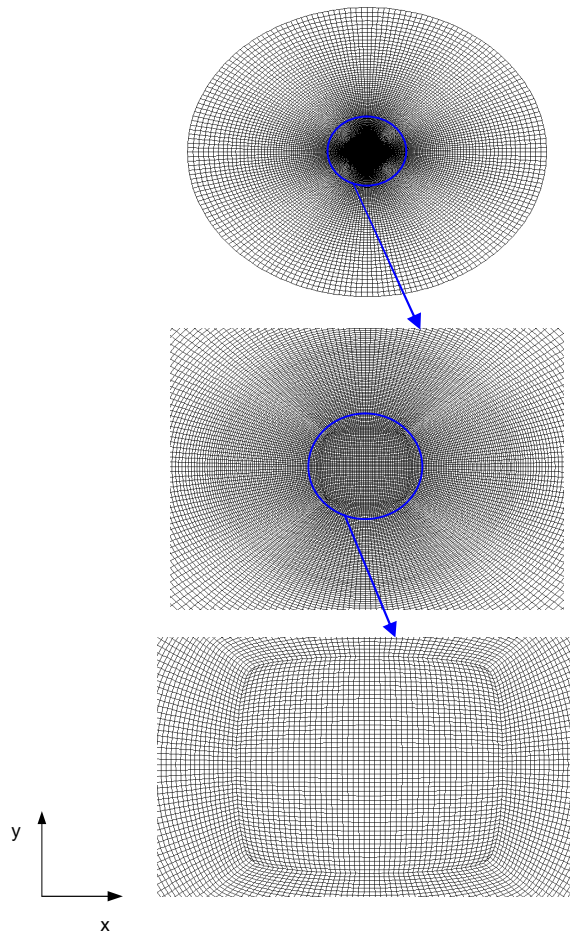


Figura A.16 Detalhe da malha utilizada na avaliação do modelo LES.

Pode ser observado que na região central a distribuição de pontos segue uma forma quadrada, com o qual se tenta ter a melhor uniformidade possível, com o qual se conseguiria uma melhor convergência e também se diminuiria os possíveis erros associados a processos difusivos.

Pode ser observado que na região central a distribuição de pontos segue uma forma quadrada, com o qual se tenta ter a melhor uniformidade possível, com o qual se conseguiria uma melhor convergência e também se diminuiria os possíveis erros associados a processos dissipativos. Na Figura A.17 é apresentada uma comparação de resultados de teste de malha na avaliação da velocidade radial média (Caso $S=0$) com o modelo LES Dinâmico.

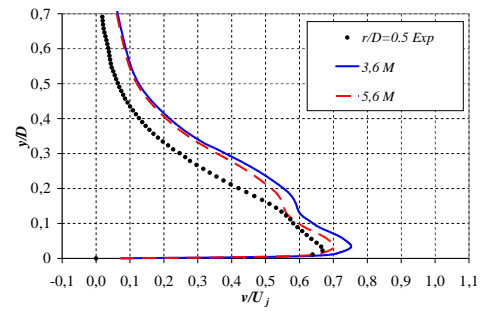


Figura A.17 Comparação entre as malhas 3,6 M e 5,4 M, para $r/D=0,5$.

A comparação apresentada na Figura A.17 demonstra a dificuldade da malha 3,6M em caracterizar o escoamento médio, pelo contrario a malha 5,4 M sendo uma malha melhor projetada traz resultados mais precisos comparados aos experimentais.

APÊNDICE B

Teste para tamanho do Domínio

Para o teste do domínio computacional foram realizadas três simulações, baseadas no modelo $k-\omega$ SST, as quais são detalhadas a seguir:

Domínio 1 ($D1$): Este domínio foi o domínio de 120×150 (axial x radial), com suas respectivas condições de contorno especificadas na Figura A.1. O número de nós de $D1$, foi estabelecido no valor de 18000.

Domínio 2 ($D2$): Este domínio considera como base o domínio 1 ($D1$), com a adição de uma altura axial $H=D$, nesta porção do domínio é definida a condição de contorno direita como sendo a parede do duto pelo qual o escoamento sai em direção à superfície da placa. O número de nós de $D2$, foi estabelecido no valor de 21360.

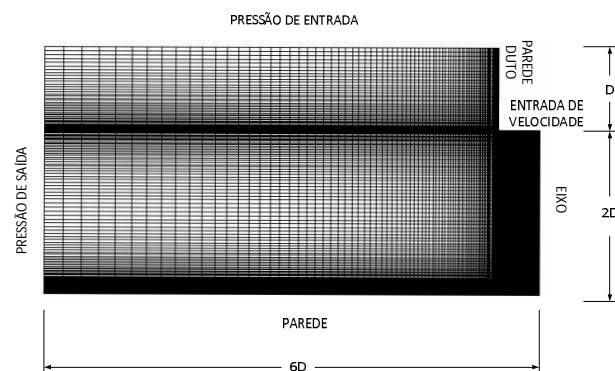
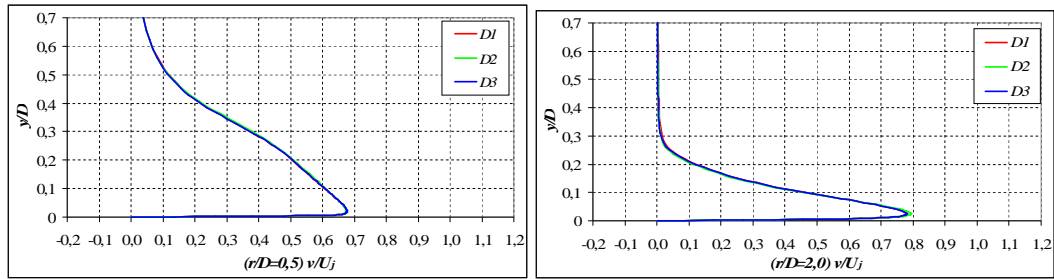


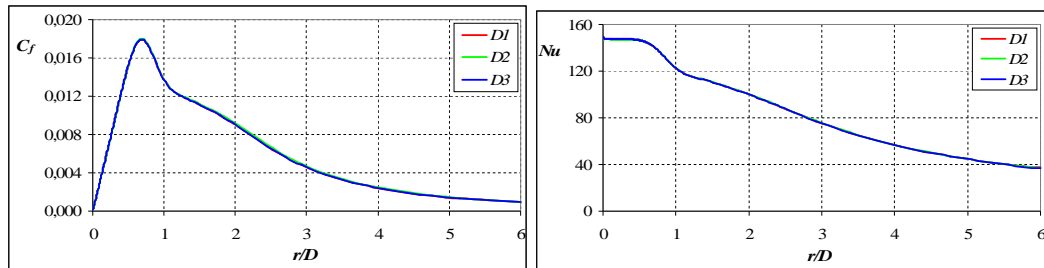
Figura B1 Domínio computacional ($D2$).

Domínio 3 ($D3$): Este domínio considera o mesmo domínio $D2$, variando a condição de contorno de parede de duto pela condição de pressão de entrada.

A continuação são apresentados os resultados obtidos com o modelo $k-\omega$ SST, na comparação dos três domínio computacionais $D1$, $D2$, $D3$.



(a) Velocidade Radial Média.



(b) (b) Coeficiente de Atrito e número de Nusselt na Superfície.

Figura B.2 – Resultados de teste do domínio computacional.

Na avaliação dos resultados da velocidade radial média assim como no coeficiente de atrito e número de Nusselt na superfície, não se encontrou diferenças significativas entre as simulações com os três domínios em estudo.

De este modo pode-se concluir que a malha 120x150 (18000 nós) é a mais adequada em termos de resultados numéricos e esforço computacional.